

## **Metron kapasiteetin ja luotettavuuden lisääminen Esiselvitys**



## Esipuhe

HSL:n keväällä 2018 päivittämien liikenne-ennusteiden mukaan Länsimetron Kivenlahden jatkeen tullessa käyttöön ja alueen maankäytön kehittyessä, ylittävät Kivenlahdesta tulevan linjan matkustajamäärät maksimikapasiteetin Kivenlahden haaralla. Maksimikapasiteetti ylittyy tilanteessa, jossa toinen metrolinja kääntyy suunnitellun mukaisesti Tapiolassa ja toinen Kivenlahdessa ja metron vuoroväli on nykyisen mukainen (300 sekuntia/linja). Maankäytön ja liikenteen hinnoittelun edelleen kehittyessä metron kapasiteetti ylittyy vuoteen 2030 mennessä, vaikka kaikki vuorot ajettaisiin Kivenlahteen asti.

Metron itähaaran kapasiteetti ei myöskään riitä pitkälle tulevaisuuteen. Metron nykyisen kapasiteetin ylittymisen ajankohta riippuu myös Östersundomin rakentumisesta. Östersundomin rakentuminen edellyttää kuitenkin omaa laajempaa linjastollista tarkasteluaan, joka ei kuulu tämän työn piiriin. Kruunuvuorenselän raitiotien valmistuminen, arviolta vuonna 2026, keventää metron kuormitusta, mutta kapasiteettia tarvitaan ennusteiden mukaan myöhemmin lisää.

HKL, HSL ja Länsimetro Oy ovat yhdessä päättäneet käynnistää selvityksen mahdollisuuksista lisätä metron kapasiteettia. Selvityksen tavoitteena on tunnistaa ja kuvata eri vaihtoehdot ja ratkaisut metron kapasiteetin nostamiseksi. Työssä on ehdotus toteutuspoluksi vuosille 2020–2030. Samalla on tehty esitys eri osapuolten vastuista sekä toteutuspolkujen vaatimista osaamis- ja henkilöstöresursseista.

Työtä on ohjannut projektiryhmä, johon ovat kuuluneet:

Ville Lehmoskoski, pj.	HKL
Artturi Lähdetie	HKL
Kimmo Reiman	HKL
Arttu Kuukankorpi	HKL
Julius Vuoriluoto	HKL
Tero Anttila	HSL
Eeva Vesaoja	HSL
Hannu Heikkinen	HSL
Johanna Wallin	HSL
Ville Saksi	Länsimetro Oy
Raimo Kaunismäki	Länsimetro Oy
Jussi Utti	Länsimetro / Rejlers Oy
Harri Tanska	Espoon kaupunki
Markku Riekkö	Helsingin kaupunki

Konsulttina työssä on toiminut WSP, jossa työstä vastasivat Juhani Bäckström, Antti Kataja ja Henri Miettinen. Lisäksi työhön ovat osallistuneet WSP UK:n toimistosta Pradeep Vasudev ja Michael Stubbs sekä Kari Ruohonen Tmi Kari Ruohosesta. Työ alkoi maaliskuussa 2019 ja päättyi lokakuussa 2019. Työssä haastateltiin HKL:n, HSL:n ja Länsimetron metroasiantuntijoita sekä tehtiin sähköpostikyselyt UITP:lle, ja Oslon, Tukholman, Lontoon sekä Nürnbergin kaupungeille. Lisäksi järjestettiin metron liikenteenohjausjärjestelmiä toimittaville yrityksille markkinavuoropuhelutilaisuus, johon osallistui kuusi yritystä. Yritysten kanssa pidettiin yhteinen esittely- ja keskustelutilaisuus sekä kunkin toimijan kanssa erilliset kahdenkeskiset vuoropuhelut.

## Tiivistelmä

HSL:n keväällä 2018 päivittämien liikenne-ennusteiden mukaan metron kapasiteetti ylittyy Länsimetron osuudella vuoteen 2030 mennessä, vaikka kaikki vuorot ajettaisiin Kivenlahteen asti. Metron itähaaran kapasiteetti ei myöskään riitä tulevaisuudessa. Kruunusiltojen valmistuminen, arviolta vuonna 2026, keventää metron kuormitusta, mutta kapasiteettia tarvitaan ennusteiden mukaan myöhemmin lisää.

Pääkaupunkiseudun metro muodostaa keskeisen osan joukkoliikennejärjestelmää. Matkustajien näkökulmasta metron kapasiteetin on oltava riittävä ja liikennöinnissä on oltava mahdollisimman vähän häiriöitä. Edellä esitetyt tavoitteet eivät täyty vuonna 2030, jos kehittämistoimenpiteisiin ei ryhdytä. Esiselvityksessä on tunnistettu ja kuvattu ratkaisuja metron kapasiteetin ja luotettavuuden lisäämiseksi sekä laadittu toteutuspolku vuosille 2020–2030. Samalla on tehty esitys eri osapuolten vastuista sekä toteutuspolun vaatimista osaamis- ja henkilöstöresursseista.

Kapasiteetin nostamiseksi ja liikennöinnin luotettavuuden parantamiseksi on tunnistettu parhaaksi toimenpiteeksi siirtyminen jatkuvaan kulunvalvontaan (CBTC-järjestelmään). Tämän avulla mahdollistetaan nykyistä tiheävälisempi metrolinnoitus. Samalla on varmistettava, että myös infraratkaisut mahdollistavat vuorovälin riittävän tihentämisen. Edellisten lisäksi esitetään mahdollisen piilokapasiteetin hyödyntämistä sekä junaan ja junasta ulos kulkemisen tehostamista ohjaustoimenpiteillä. Myös istumapaikkajärjestyksen muuttamista voidaan harkita.

Kapasiteetin noston ja luotettavuuden kehittämistä varten esitetään hankejohtajan nimeämistä. Keskeinen toimenpide on liikenteenohjausjärjestelmän kehittäminen, jota varten hankejohtajan tueksi esitetään 5 henkilön projektiorganisaatiota (projektipäällikkö, CBTC-asiantuntija, nykyisen järjestelmän asiantuntija, turvallisuusasiantuntija ja liikennöinnin mallintamisen asiantuntija).

Työssä on tunnistettu 13 selvitystä käynnistettäväksi. Välittömästi käynnistettäväksi esitetään selvitykset 1–4 sekä hankejohtajan ja liikenteenohjausjärjestelmän projektipäällikön rekrytointi. Selvitys 1 käsittää hankejohtajan ja liikenteenohjausjärjestelmän projektipäällikön tehtävien, vastuiden ja valtuuksien määrittämisen sekä myös eri organisaatioiden roolien ja vastuiden määrittämisen. Selvitys 2 käsittää liikenteenohjausjärjestelmän laitteiden omistusmallin arvioinnin. Selvityksessä 3 arvioidaan matkustajaohjauksen, piilokapasiteetin ja istumapaikkajärjestyksen muutosten vaikutuksia. Selvityksessä 4 varmistetaan, että Länsimetron varikko- ja kääntöratkaisut mahdollistavat tulevaisuudessa riittävän tiheävälisen liikennöinnin.

Esiselvityksen jälkeen esitetään yleissuunnitelman laatimista. Yleissuunnitelma käynnistetään hankejohtajan ja liikenteenohjausjärjestelmän projektipäällikön toimesta ja samalla käynnistetään selvitykset 5–13. Yleissuunnitelmassa määritetään kapasiteetin noston ja liikennöinnin luotettavuuden laadulliset tavoitteet, asetetaan toimenpiteille kattohinta ja laaditaan kuvaus hankkeen lopputuloksesta. Yleissuunnitelma myös kokoaa yhteen selvitysten 1–13 keskeiset tulokset. Hankesuunnitelma käynnistetään arviolta syksyllä 2020 yleissuunnitelman valmistumisen jälkeen. Hankesuunnitelman kestoksi on arvioitu noin puoli vuotta. Hankepäätös on tarkoitus tehdä keväällä 2021.

Yleissuunnitelman laadinnan yhteydessä selvitetään pelastuslaitosten kanta kapasiteetin noston toimenpiteisiin. Moni tässä työssä tarkasteltu toimenpide parantaa myös liikennöinnin turvallisuutta. Turvallisuuden parantaminen ei ole kuitenkaan ollut mukana tässä työssä.

## Keskeisiä käsitteitä

**Akselinlaskija (Axle Counter)** on laite, joka tunnistaa laskijapisteen sivuuttavat junat pyörien aiheuttaman magneettikentän muutoksen perusteella. Jokaisen raideosuuden päissä on akselinlaskijat, jotka laskevat sivuuttavat akselit. Kun jälkimmäinen laite havaitsee osuudelta poistuvan yhtä monta akselia kuin ensimmäinen laski sisään, laite ilmaisee osuuden vapaaksi.

**Asetinlaite (Interlocking – IXL)** on tekninen järjestelmä, jota käytetään junien liikkeitä turvaavien kulkuteiden varmistamiseen. Asetinlaite ohjaa ja valvoo ulkolaitteiden, kuten opastimien, vaihteiden kääntölaitteiden ja raidevirtapiirien tilaa. Asetinlaite välittää tiedon varmistuneesta kulkutiestä kulunvalvontajärjestelmälle.

**Baliisi (Balise)** on kiskojen väliin sijoitettu passiivinen tai aktiivinen elektroninen lähetin, josta ohittava juna lukee sijaintitiedot, nopeusrajoituksen, tietoa radasta ja kulkuluvan.

**Automaation tasoilla (Grade of Automation – GoA)** luokitellaan kaupunkiraideliikenteen automaatiota. Tasojen 1-4 lisäksi on myös taso 0, joka tarkoittaa raideliikennettä, jossa kuljettaja ajaa junaa näköhavaintoihin perustuen, kuten raitiotieliikenteessä.

GoA 1	GoA 2	GoA 3	GoA 4
Kuljettaja ajaa junaa kulunvalvonnan antamien opastintietojen mukaan.	Puoliautomaatti, jossa juna liikkuu automaattisesti, mutta kuljettaja sulkee ovet ja laittaa junan liikkeelle. Kuljettaja tekee myös tarvittaessa hätäjarrutuksen ja ohjauksen hätätilanteessa.	Juna toimii kuljettajattomana, mutta junassa on matkustamossa henkilö, joka sulkee ovet ja panee junan liikkeelle. Tämä henkilö voi ottaa junan hallintaansa myös hätätilanteessa.	Täysautomaattinen valvomaton junan toiminta, jossa juna toimii kuljettajattomana, jolloin myös ovien toiminta ja hätätilanteet hoituvat koneen ohjaamina, eikä junassa ole muuta henkilökuntaa.
Kuljettaja ajaa junaa			
Junassa on kuljettaja			
Juna on miehitetty			
Normal Train Operation (NTO)	Semi-Automatic Train Operation (STO)	Driverless Train Operation (DTO)	Unattended Train Operation (UTO)
Kuljettajaohjaus	Puoliautomaattiohjaus		Täysautomaattiohjaus

Kuva 1. Raideliikenteen automaation tasojen erittely Grade of Automation -asteikolla (GoA).

**Automatic Train Operation (ATO)** on ATC:n toiminto, joka suorittaa kuljettajan tehtäviä automaation tasosta riippuen, joko vain ajaen junaa asemien välillä, tai hoitaen myös asematoiminnot. Termiä ATO käytetään joskus termien STO, DTO tai UTO kanssa ristiin, tai niiden yläkäsitteenä.

**Automatic Train Control (ATC)** on liikenteenohjausjärjestelmä, jolla on ennen tarkoitettu ATP-järjestelmiä, mutta nykyään käytetään ylätasojen järjestelmäkäsittelenä sisältäen ATO-, ATP- ja ATS-toiminnot. ATC-järjestelmä on perusedellytys automaattiajolle.

**Automatic Train Protection (ATP)** on kulunvalvonnan järjestelmä, joka jatkuvasti tarkistaa, että junan nopeus on alhaisempi tai yhtä suuri kuin liikenteenohjausjärjestelmän suurin sallima nopeus riippuen junan sijainnista, nopeudesta ja edessä olevan vapaan rataosuuden pituudesta. Jos nopeus on liian suuri, järjestelmä aktivoi hätäjarrut, ja siten estää junien törmäykset toisiinsa.

**Automatic Train Supervision (ATS)** on käytönohjausjärjestelmä, joka toimii pääasiallisena liikenteenohjaajan käyttöliittymänä. Pyytää asetinlaitteelta automaattisesti aikataulutetun liikenteen vaatimat junankulkutiet.



Kuva 2 Havainnollistava diagrammi automaatiojärjestelmien suhteista toisiinsa.

**Communication Based Train Control (CBTC)** on jatkuvan kulunvalvontajärjestelmän toimintaperiaate, joka perustuu junien ja liikenteenohjausjärjestelmän väliseen kommunikaatioon radioyhteydellä (LTE/5G/Wi-Fi). Junat ilmoittavat liikenteenohjausjärjestelmään jatkuvasti tietoa sijainnistaan ja nopeudestaan, ja liikenteenohjausjärjestelmä ohjeistaa junaa jatkuvasti.

**European Railway Traffic Management System (ERTMS)** on Euroopan Unionin hanke, jonka tavoitteena on yhtenäistää ja standardisoida rautatieliikenteen ohjaus.

**European Train Control System (ETCS)** on ERTMS:n liikenteenohjausjärjestelmien standardit rautatieliikenteen kulunvalvontaan. ETCS-standardilla on kolme tasoa.

**Jatkuva kulunvalvonta** on kulunvalvontajärjestelmä, joka jatkuvasti valvoo junien nopeutta ja tarvittaessa puuttuu siihen. Juna ja liikenteenohjausjärjestelmä keskustelevat esimerkiksi radioyhteydellä jatkuvasti, jolloin junan reaaliaikainen sijainti ja nopeus voidaan tietää liikenteenohjausjärjestelmässä, ja liikenteenohjausjärjestelmä voi jatkuvasti päivittää junalle sen kulkulupaa.

**Kiinteillä suojaväleillä (Fixed Block Signaling)** junalle annetaan kulkulupa kiinteiden välien mukaan – esimerkiksi lupa edetä seuraavalle opastimelle asti.

**Kulkutie** on määritetyin ehdoin asetinlaitteen varmistama suojaväli.

**Kulunvalvontajärjestelmä** rautatieliikenteessä on järjestelmä, joka valvoo junayksiköiden suurinta nopeutta ja varmistaa nopeusrajoitusten, opasteiden ja muiden merkkien noudattaminen.

**Kääntölaite (Point Machine)** on vaihdetta operoiva laite, joka toimii asetinlaitteen ohjauksessa. Kääntölaite myös lukitsee vaihteen asennon asetinlaitteen lukitessa kulkutien.

**Laituriivet (Platform Screen Doors – PSD)** ovat laiturin ja raiteiden välissä oleva seinä, jolla voi estää ilman, tavaroiden, ihmisten ja palokaasujen kulun laiturin ja raiteiden välillä. Laiturioviseinä voi myös olla matalampi, jolloin laituriovet eivät vaikuta ilmastointiin tai palo-osastointiin. Seinän varsinaiset ovet sijoittuvat laiturilla samaan kohtaan kuin asemalle pysähtyvän junan ulko-ovet.

**Liikenteenohjausjärjestelmä** on tässä dokumentissa rajattu tarkoittamaan teknistä kokonaisuutta, joka sisältää kulunvalvontajärjestelmän junalaitteineen sekä asetinlaitteet ulkolaitteineen.

**Liikkuvilla suojavaileilla (Moving Block Signaling)** junalle annettava kulkulupa ei perustu kiinteisiin väleihin tai radanvarsilaitteistoon. Kulkuluvat riippuvat junien reaaliaikaisesta sijainnista, nopeudesta, turvamarginaalista ja edellä olevan junan vastaavista tiedoista, jolloin kulkuluvan päätepiste liikkuu.

**Pakkopysäytysjärjestelmä (Trip Stop System)** on järjestelmä, joka aktivoi junan jarrun asetinlaitteen ohjauksessa olevan ratamagneetin avulla. Ratamagneetteja on pääkaupunkiseudun metrojärjestelmässä opastimien ja nopeudenvälontapisteiden yhteydessä.

**Pistemäinen kulunvalvonta** on kulunvalvontajärjestelmä, jossa jatkuvan kulunvalvonnan tavoin junien nopeutta valvotaan jatkuvasti, mutta tiedonsiirto tapahtuu vain ennalta määritetyissä pisteissä ballisien avulla. Liikenteenohjausjärjestelmä tietää junan sijainnin vapaanaolon valvontalaitteiden perusteella raideosuuden tarkkuudella, ja junan kulkulupa päivittyy ballisien kautta junan laitteille.

**Raideosuus** on osuus raiteista, joka on eristetty omaksi raidevirtapiirikseen, tai jonka päissä olevilla akselinlaskijoilla valvotaan raideosuuden vapaanaoloa.

**Raidevirtapiiri (Track Circuit)** on järjestelmä, jolla tunnistetaan raideosuudella olevat junat. Raidevirtapiiri syntyy kiskojen välille ohittavan junan pyörien ja akselien muodostaessa oikosulkuyhteyden. Kun raidevirtapiirin laite tunnistaa oikosulun, se ilmaisee raideosuuden varatuksi.

**Suojastus** on turvalaitteiden toimintojen muodostama kokonaisuus, jolla estetään junien joutuminen samalle raideosuudelle. Suojastus voi olla osa asetinlaitteen toimintaa.

**Unattended Train Operation (UTO)** on järjestelmäkokonaisuus, jossa metrojärjestelmän junat ajavat ilman kuljettajia tai muuta henkilökuntaa junassa. UTO-järjestelmät vastaavat GoA4-tason metroliiikennettä.

**Vapaanaolon valvonta (Train Detection)** on järjestelmä, jolla varmistetaan raideosuuden vapaanaolo junista. Vapaanaolon valvontalaitteita ovat joko raidevirtapiirilaitteet tai akselinlaskijat. Jatkuvan kulunvalvontajärjestelmän varalla toimivista vapaanaolon valvontalaitteista käytetään termiä toissijaiset vapaanaolon valvontalaitteet (Secondary Train Detection).

## Sisällys

Esipuhe .....	2
Tiivistelmä.....	3
Keskeisiä käsitteitä.....	4
1. Nykytilanne.....	8
2. Kokemuksia ulkomailta .....	12
3. Markkinavuoropuhelu, UITP:n asiantuntijat .....	19
4. Keinot kapasiteetin nostamiseksi .....	21
5. Suosituksia.....	35
5.1 Tavoitteet .....	35
5.2 Etenemispolku .....	36
5.3 Organisointi, osaamisen varmistaminen.....	37
5.4 Infran kehittäminen .....	39
5.5 Kulunvalvonnan kehittäminen .....	40
5.6 Liikennöinnin mallintaminen .....	41
5.7 Kalusto.....	42
5.8 CBTC-järjestelmän hankintamallista .....	42
5.9 Riskienhallinta.....	44
6. Aikataulu ja jatkotoimenpiteet.....	46

# 1. Nykytilanne

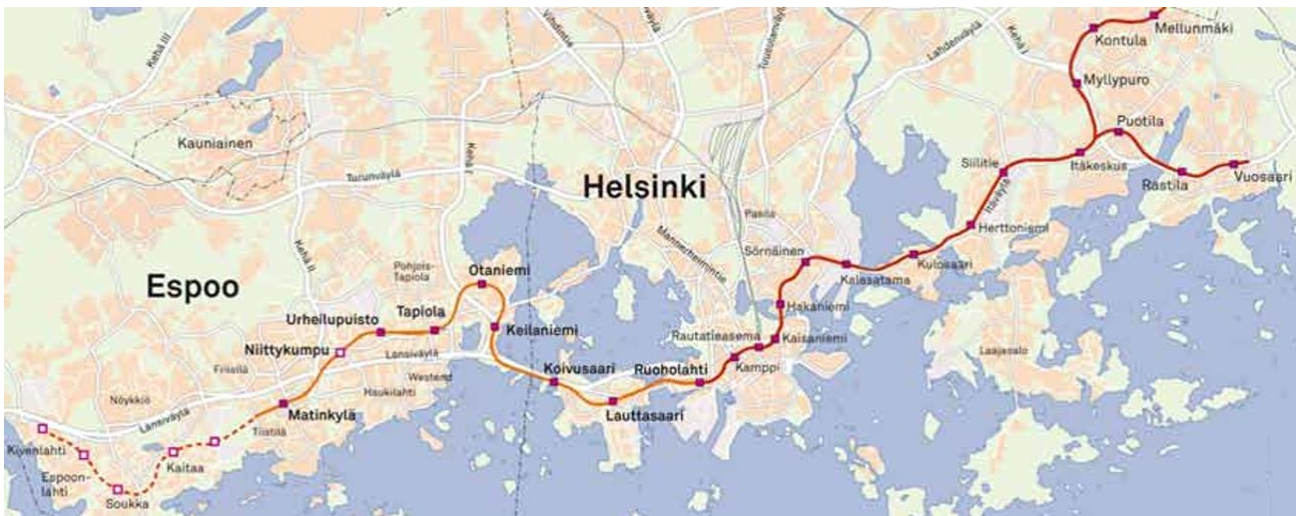
## Linjasto

Nykyinen pääkaupunkiseudun metrolinjasto koostuu kahdesta linjasta: Vuosaari–Matinkylä 5 minuutin (300 s) vuorovälillä ja Mellunmäki–Tapiola 5 minuutin (300 s) vuorovälillä. Linjoilla on yhteiset raiteet välillä Itäkeskus–Tapiola, jolloin vuoroväli on 2,5 min (150 s).



Kuva 3. Pääkaupunkiseudun metron linjakartta.

Helsingin metro otettiin käyttöön vuonna 1982 välillä Rautatientori–Itäkeskus. Viimeisin laajennus, Länsimetron ensimmäinen vaihe Ruoholahdesta Matinkylään, avattiin matkustajaliikenteelle marraskuussa 2017. Länsimetron toista vaihetta Matinkylästä Kivenlahteen ollaan parhaillaan rakentamassa. Sen arvioitu käyttöönotto on vuonna 2023.



Kuva 4. Pääkaupunkiseudun metrolinjasto kartalla. Katkoviivalla on merkitty rakenteilla oleva metron jatko Matinkylästä Kivenlahteen.

Metrolinjaston kokonaispituus on 35 km ja sillä on 25 asemaa. Asemista 16 on maanalaisia ja 9 maanpäällisiä. Kaikki maanpäälliset asemat sijaitsevat Sörnäisten itäpuolella. Länsimetron jatke Matinkylästä Kivenlahteen tuo metrolinjaan 7 km ja 5 asemaa lisää.

Metron alettua liikennöidä Matinkylään asti, on matkustajien matkan keskipituus ollut 7,9 km. Aiemmin matkojen keskipituus oli 6,3 km.



## Kalusto

Pääkaupunkiseudun metroa liikennöidään 46 metrojunayksiköllä, joista liikenteeseen sitoutuvia on 36. Junia on kolmea eri sarjaa: M100, M200 ja M300. Yhden metrojunayksikön muodostaa yksi nelivaunuinen M300-sarjan juna, joita on 20, tai kaksi M100- tai M200-sarjan junaa. M100-sarjan vaunupareja on liikenteessä 40 ja M200-sarjan vaunupareja 12. Näistä muodostuu siis 20 ja 6 metrojunayksikköä.

Vanhimmat M100-sarjan junat ovat vuosilta 1980–1984 ja M200-sarjan junat vuosilta 2000–2001. Nämä junat ovat valmistusajankohtansa mukaista tekniikkaa ja niiden täysautomatisointi osoittautui aiemmassa automatisointiprojektissa haasteelliseksi. M100- ja M200-sarjat on varauduttu pitämään kuitenkin toimintakuntoisina jopa vuoteen 2035 asti.

Uusimmat M300-sarjan junat ovat vuosilta 2017–2018 ja niissä on varauduttu täysautomaattiajoon edellisen automatisointiprojektin tarpeiden mukaisesti. Jatkossa, jos siirrytään kuljettajattomaan meteroon, voidaan M300-junien ohjaamo poistaa. M300-sarjan junien tilauksesta on vielä optio 5 lisäjunan hankinnalle, joka käytetään Länsimetron Kivenlahden jatkeen liikennettä varten.

Parhailtaan valmistellaan uuden M400-junasarjan hankintaa.

## Kulunvalvonta

Nykyinen metrojärjestelmä on kuljettajametro, jossa ei ole varsinaista nopeusrajoitusten noudattamista varmistavaa kulunvalvontajärjestelmää. Asetinlaite ohjaa pakkopysäytysjärjestelmän ratamagneetteja, jotka aktivoivat junan jarrun, jos juna ohittaa Seis-opasteen. Juna pysähtyy tällöin asetinlaitteen kulkutien yhteydessä varmistaman ohiajovaran matkalla. Raiteet on jaettu opastimilla kiinteisiin suojaväleihin, jotka voivat olla turvattuja vain yhden junan liikkeelle kerrallaan. Kuljettajat ajavat junia opastinväliltä toiselle opastimien antamien opasteiden perusteella, jotka asetinlaite muodostaa varmistuneiden kulkuteiden perusteella.

Raiteet opastimien välillä on jaettu edelleen raideosuuksiin, joilla junan sijainti tunnistetaan vapaanaolon valvontalaitteilla raideosuuden tarkkuudella. Vapaanaolon valvonta varsinaisen metrolinjan varrella perustuu äänitaajuusraidevirtapiireihin, kun taas metrovarikon alueella on käytössä myös akselinlaskijoita.

Länsimetron osuuden liikenteenohjausjärjestelmä on hankittu Miprolta ja on modernia tekniikkaa. Helsingin kantametron vanhat 1980-luvulta peräisin olevat asetinlaitteet vaihdettiin 2012 joulukuussa Siemensin asetinlaitteisiin. Tammikuussa 2019 asennettiin Mipron asetinlaitteet, jolloin koko metrolinjalla on nykyisin yhtenäinen asetinlaitejärjestelmä. Helsingin kantametron ulkolaitteet ovat edelleen vanhat ja niiden varaosien saataavuus on heikentynyt.

Pääkaupunkiseudun metron pakkopysäytysjärjestelmä ei tukeudu uusimpaan tekniikkaan. Turvallisuustason parantamisen kannalta on perusteltua kehittää metron turvallisuusjärjestelmää joko uudistamalla pakkopysäytysjärjestelmä tai korvaamalla se jollakin toisella järjestelmällä.

Haasteena kulunvalvonnan parannustoimenpiteissä on se, ettei nykyisen kaltaista liikenteenohjausjärjestelmää todennäköisesti tarvita enää 10 vuoden kuluttua, joten nykyisen järjestelmän parantamiseen sijoitetut rahat eivät tule olemaan osa pitkäaikaista ratkaisua.

## Vuoroväli

Metrolikenteen nykyistä ruuhka-ajan vuoroväliä metrolinjan runko-osuudella ei pystytä lyhentämään ilman liikenteenohjausjärjestelmän päivittämistä. Tällä hetkellä pienin mahdollinen teoreettinen vuoroväli on noin 120 sekuntia, mutta liikennöinnin häiriöherkkyyden minimoimiseksi arkiliikenteen vuorovälin on oltava hieman suurempi. Tihein jatkuvasti saavutettava vuoroväli Helsingin metrossa ja Länsimetrossa on 150 sekuntia. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jokaisella junalla on varaa myöhästyä aikataulustaan vain 30 sekuntia ennen kuin seuraava juna joutuu odottamaan edellistä.

Jos vuoroväliä tihentäisi ilman kulunvalvonnan päivitystä, jäisi junille alle 30 sekunnin vara poiketa aikataulustaan. Näin pieni vara tekisi metrolikenteestä hyvin häiriöherkkää ja vaatisi, että metron sulkeutuvien ovien väliin ei menisi yksikään matkustaja ruuhka-aikaan. Lisäksi nykyistä junien purkamista ja lastausta asemilla pitäisi tehostaa merkittävästi. Tämä kehityspolku ei ole realistinen tai tavoiteltava – vuorovälin tihentämiseksi on päivitettävä tai uusittava metrojunia ohjaavia järjestelmiä.

Isompien häiriöiden sattuessa metron häiriöherkkyyttä parannetaan luopumalla aikataulusta ja siirtymällä vakiovuoroväliin, jolloin muita junia hidastetaan yksittäisen junan myöhästymisen verran. Tällöin junien tasainen vuoroväli säilyy.

## Matkustajakapasiteetti

Nykymallisen metron matkustajakapasiteetti ei tule riittämään 2020-luvun loppupuolella, jos metrojunista 50 % kääntyy Tapiolassa ja 50 % Kivenlahdessa. Nykyisen kuljettajametron kapasiteetti on noin 7200 matkustajaa tunnissa 5 min (300 s) vuorovälillä. Liikenne-ennusteiden perusteella matkustajamäärä Tapiolan länsipuolella vuonna 2030 on noin 9300–10500 matkustajaa tunnissa, mikä ylittää selvästi nykymetron kapasiteetin. Metron matkustajamääriin vaikuttavat mm. metron vaikutusalueen maankäytön kehittyminen sekä liikenteen hinnoittelu. Matkustajakysyntä kasvaa edelleen vuoden 2030 jälkeen.

Toinen kriittisesti kuormittuva osuus metrolinjalla on Kulosaaren sillalla, jolle myös tarvitaan lisää kapasiteettia. Voi olla, ettei metron itähaaran kapasiteetti riitä Östersundomin jatkeen tuottamaan matkustajien lisäykseen. Östersundomin rakentuminen edellyttää kuitenkin laajempaa linjastollista tarkastelua, joka ei kuulu tämän työn piiriin.

## Omistus, ylläpito ja kehittäminen

Metrojärjestelmän Ruoholahdesta itään omistaa, ylläpitää ja kehittää Helsingin kaupunki (Helsingin kaupungin liikenneliikelaitos, HKL). Tämä käsittää radan lisäksi asemat ja tekniset järjestelmät. Ruoholahdesta länteen radan, asemien ja teknisten järjestelmien omistus-, ylläpito- ja kehittämisvastuut ovat Länsimetro Oy:llä. Länsimetron omistavat Espoon ja Helsingin kaupungit. Kaupungit ovat sopineet keskinäisestä rakentamisen kustannusjaosta rajalta poikki -periaatteen mukaisesti, eli kumpikin maksaa omalla alueellaan syntyvät rakennuskustannukset. Kaupunkien osuudet jakautuvat niin, että Espoon osuus Länsimetrosta on noin 85 prosenttia ja Helsingin 15 prosenttia.

HKL omistaa kaluston ja vastaa kaluston operoinnista koko järjestelmän osalta. HSL suunnittelee ja järjestää toimialueensa joukkoliikenteen sekä hankkii bussi-, raitiovaunu-, metro-, lautta- ja lähijunaliikenteen palvelut.

### Metron automatisointiprojekti

Metroa on yritetty automatisoida jo aiemmin. HKL ja Siemens allekirjoittivat sopimuksen metron täysautomaatioinnista vuonna 2008. Tarkoituksena oli vaihtaa nykyinen kulunvalvonta CBTC-järjestelmään, joka olisi automaatiotasolla GoA4, joka tarkoittaa kuljettajaton ja muiltakin osin henkilökunnaton juna. Automaatio-  
projekti ei kuitenkaan onnistunut ja se keskeytettiin vuoden 2015 tammikuussa.

---

*Pääkaupunkiseudun metron kapasiteetti on loppumassa 2020-luvun loppupuolella, jolloin kapasiteettia on pystyttävä lisäämään. Lisäksi elinkaarensa loppuvaiheessa olevaa pakkopysäytysjärjestelmää on ryhdyttävä uudistamaan. Kulunvalvonnan kehittäminen palvelee kumpaakin tarkoitusta. Kulunvalvonnan uusiminen on pitkä prosessi, joten turvallisuusjärjestelmän kehittäminen on käynnistettävä rinnan kulunvalvonnan kehittämisen kanssa.*

---

## 2. Kokemuksia ulkomailta

### Keskeisimmät havainnot

#### **Kapasiteettinostossa olennaista on CBTC-kulunvalvonta, ei täysautomatisointi**

Kaikissa tässä selvityksessä tutkituissa metrojärjestelmien kapasiteetin nostoon tähtäävissä modernisointiprojekteissa on ensisijaisesti siirrytty pois pistemäisestä kulunvalvonnasta ja kiinteistä suojaväleistä, joissa liikenteenohjausjärjestelmä tietää junan sijainnin vain raideosuuden tarkkuudella. Metroissa on siirrytty jatkuvaan kulunvalvontaan ja liikkuviin suojaväleihin, joissa liikenteenohjausjärjestelmä tietää junan täsmällisen sijainnin. Junien sijainti- ja nopeustietojen tarkentaminen mahdollistaa radan tehokkaamman käytön, kun junien turvavälit voidaan laskea tarkemmin.

Modernisointihankkeissa junien ohjauksen täysautomatisoinnilla saavutettava kapasiteetin nosto on sinänsä vähäistä verrattuna CBTC-tekniikkaan pohjautuvien liikenteenohjausjärjestelmien asennuksella saavutettavaan kapasiteetin kasvuun. Luvun 2, "Kokemuksia ulkomailta", esimerkkihankkeissa ei ole nostettu kapasiteettia laitureita pidentämällä, junan istuimia vähentämällä tai ajamalla laitureita pidempiä junia. Näitäkin toimenpiteitä on kuitenkin joissakin maailman metrojärjestelmissä käytetty.

#### **Kustannusten suuruusluokka ollut 70–300 M€ metrolinjakokonaisuutta kohden**

Järjestelmäpäivitysten hintataso on ollut karkeasti keskiarvoistaen 100–200 miljoonan euron suuruusluokassa metrolinjakokonaisuutta kohti (metrolinjakokonaisuudella tarkoitetaan yhden linjan lisäksi useampaakin linjaa, jotka kulkevat omien haarojensa välissä enimmäkseen yhteisellä runko-osuudella). Kustannuksiin vaikuttaa voimakkaimmin päivityksen sisältö. Myös linjan pituus, asemien määrä ja kalusto vaikuttavat merkittävästi kustannuksiin. Modernisointihankkeissa kustannuksia syntyy paljon ensimmäisen ratakilometrin, ensimmäisen aseman ja ensimmäisen junan päivittämisestä, sillä hankkeiden suurin haaste on usein järjestelmien ja laitteiden välisten toimivien rajapintojen rakentamisesta ja testaamisesta.

#### **Modernisointiprojektit pysyvät heikosti aikataulussa ja budjetissa**

Lähes jokaisessa metrojärjestelmässä on ennen modernisointia erilainen yhdistelmä eri järjestelmiä, eri radanvarsilaitteita ja monentyyppistä junakalustoa eri valmistajilta ja eri vuosikymmeniltä. Järjestelmien välillä ei ole standardisoituja rajapintoja. Jokainen projekti on siis hyvin uniikki. Hankkeiden erilaisuus vaikeuttaa projektien suunnittelua, budjetointia ja vaiheistusta, minkä takia kustannus- ja aikaylitykset ovat yleisiä, ja hankesopimusten purkamisen ei ole harvinaista. Tulevissa modernisointihankkeissa on syytä suunnitella hyvin projektin tavoitteet ja eri järjestelmien yhteensopivuus. Lisäksi on huomioitava karkeana nyrkkisääntönä, että mitä enemmän vanhan metrojärjestelmän osia säilytetään, sitä suurempi riski on ennakoimattomille ongelmille, jotka vaikuttavat projektin budjettiin ja aikatauluun.

Seuraavassa on käsitelty valikoituja kohteita, jotka ovat pääkaupunkiseudun metron kapasiteetin noston näkökulmasta mielenkiintoisia esimerkkipaunkeja.

## Nürnberg

Nürnbergissä päätettiin kaupungin kolmannen metrolinjan, U3, rakentamisen yhteydessä automatisoida ja uusia liikenteenohjausjärjestelmä metrolinjalla U2. Uuden linjan oli määrä jakaa yhteinen osuus vanhan linjan kanssa, jolloin yhteisellä runko-osuudella tuli nostaa liikenteenohjausjärjestelmän välityskykyä. Vanha liikenteenohjausjärjestelmä ei sallinut alle 200 sekunnin vuoroväliä, vaikka linjakohtainen 240 sekunnin vuoroväli olisi vaatinut runko-osuudelle 120 sekunnin vuorovälin. Ongelman ratkaisemiseksi molemmilla metrolinjoilla siirryttiin kiinteillä suojaväleillä liikennöinnistä ja pistemäisestä kulunvalvonnasta liikkuviin suojaväleihin ja jatkuvaan CBTC-kulunvalvontaan sekä siirtymällä täysautomaattiohjaukseen.

Vuonna 2000 tehtiin hankepäätös tästä maailman ensimmäisestä hankkeesta, jossa täysautomatoitiin kuljettaja-ajoon perustunut metrojärjestelmä. Siemensin kanssa tehtiin 610 miljoonan euron sopimus. Summaan sisältyi 140 miljoonaa euroa 32 uudesta junasta, 360 miljoonaa euroa uuden linjan uusista osuuksista ja 110 miljoonaa euroa liikenteenohjausjärjestelmän päivityksestä ja täysautomaattiohjausjärjestelmästä. Alkuperäisen aikataulun mukaan linja U3 olisi pitänyt avautua liikenteelle 2006 jalkapallon MM-kisoihin, mutta uusien järjestelmien asentaminen ja testaus ei onnistunut alkuperäisessä aikataulussa. Siemens uusi projektiorganisaationsa, ja linja saatiin lopulta avattua 2008. Avauduttuaan uusi linja oli teknisesti GoA4-tason metrojärjestelmä, sillä jokaisessa junassa ei ollut henkilökuntaa. Entiset kuljettajat kuitenkin kiersivät linjan junilla ja asemilla, ja kykenivät häiriötilanteessa ottamaan junia hallintaansa.

Vuosina 2008–2010 linjojen U2 ja U3 yhteisellä runko-osuudella kulki vuoron perään linjan U3 junat täysautomaattiohjauksella ja linjan U2 junat kuljettajaohjauksella. Automaattijunat kykenivät ajamaan 100 sekunnin vuorovälillä kuljettajaohjatun junan takana, kun taas kuljettajien ohjaamat junat joutuivat säilyttämään 200 sekunnin välin automaattijuniin. Sekaliikennevaiheen aikana linjan U2 omille osuuksille asennettiin sama järjestelmä, ja 2010 myös linjalla U2 siirryttiin täysin täysautomaattiseen liikenteeseen, mikä mahdollisti 100 sekunnin vuorovälin kaikkien junien välillä.

Automatisointiprojektin yhteydessä asemille ei rakennettu laituriovia, sillä ovien rakentaminen olisi aiheuttanut liikaa häiriötä liikenteelle. Lisäksi kuljettajaohjauksen ja täysautomaattiohjauksen sekaliikennevaiheessa kuljettajat eivät olisi kyenneet pysäyttämään junia riittävän täsmällisesti ja vuorovälin vaatimalla ripeydellä laituriovien vaatimalle kohdalle. Laituriovien sijaan rakennettiin laiturin alareunan tasoon laituriosuoksien valvontajärjestelmä (*GIDS – Guideway Intrusion Detection System*), joka pysäyttää junan automaattisesti, jos raiteille joutuu sinne kuulumattomia asioita. Järjestelmä perustuu tutkaan, jota avustaa videoanalytiikkajärjestelmä.

Vuonna 2013, viisi vuotta U3-linjan avaamisen jälkeen, liikenteen täsmällisyysaste oli 99,6–99,8% alle 150 sekunnin myöhästymisillä. Metroliikenteen operaattorin mukaan automaation myötä henkilöstön nettosäästö oli 100 kuljettajaa, kun uusia kuljettajia ei tarvinnut palkata linjaston laajennuksesta huolimatta. Linja myös käyttää 10–15 % vähemmän sähköä. Nürnbergissä ei ole suunniteltu linjan U1 automatisointia, koska tälle ei ole kapasiteetin tai muiden syiden takia tarvetta.

---

*Nürnberg: Metrojunia voidaan joissain tapauksissa ajaa yhteisellä osuudella kuljettajaohjauksella ja automaattiohjauksella samaan aikaan. GoA4-tason järjestelmää on mahdollista operoida myös ilman laituriovia.*

---

## Lontoo

Lontoossa on viime vuosina modernisoitu kolme metrolinjaa kolmessa erillisessä projektissa, ja tällä hetkellä modernisoidaan neljää metrolinjaa yhdessä suurprojektissa. Kaikissa hankkeissa metrolienteestä vastaava kuntayhtymä Transport for London (TfL) on tilannut työn Thalesilta. Kaikissa Lontoon metrojunissa on modernisointihankkeiden jälkeenkin kuljettajat, jotka vastaavat asematoiminnoista. Ainoastaan metrojärjestelmästä erillinen Docklands Light Railway on kuljettajaton. Tähän mennessä modernisoidut linjat ovat Jubilee, Northern ja Victoria.

**Jubilee linella** oli jo ennen modernisointia osalla linjasta laituriovet, mutta kuljettajat vastasivat täysin junien ajamisesta. Kuljettajat oppivat hyvin pysäyttämään junat oikealle kohdalle, mutta manuaaliohjaus laituriovien kanssa rajoitti vuoroväliä. Linjan kapasiteetin nostamiseksi käynnistettiin modernisointiprojekti, jossa uusittiin liikenteenohjausjärjestelmä, jolla voitiin siirtyä puoliautomaattijoon (GoA2) ja 120 sekunnin vuoroväliin. TfL ja Thales tekivät vuonna 2002 projektista 320 miljoonan euron sopimuksen tavoitteenaan aloittaa liikennöinti uusilla järjestelmillä 2009. Hanke kuitenkin myöhästyi vuoteen 2011 asti ja hankkeen kustannukset nousivat tuona aikana 2,5-kertaisiksi, 800 miljoonaan euroon. Projekti aiheutti myös merkittävästi häiriöitä liikennöinnille, jota ei keskeytetty projektin ajaksi.

Muista tässä työssä tutkituista modernisointiprojekteista poiketen linjan liikenteenohjausjärjestelmä ei perustu CBTC-tekniikkaan, vaan kyseessä on TBTC – Transmission Based Train Control. Radalla on 25 metriä pitkiä induktiosilmukoita kiskojen välissä noin 25 metrin välein siten, että silmukat ovat hieman limittäin. Junan laitteisto tunnistaa silmukoiden kentän muutoksen aina silmukoiden rajalla. Yksittäiset silmukat on myös jaettu neljään virtuaaliseen osuuteen, joista muodostuu 160 "raideosuutta" raidekilometriä kohden. Näin pienet välit ja junien reaaliaikaisen sijaintitiedon jatkuva päivitys kulunvalvontajärjestelmässä sallivat junien ajamisen jopa 50 metrin välein alhaisilla nopeuksilla. Järjestelmä sallii myös junien ajamisen molempiin suuntiin yhdellä raiteella, mutta Lontoossa tämä ominaisuus ei ole käytössä pääraiteilla. TBTC:n periaattein toimivan järjestelmän kaatuessa järjestelmällä voidaan ajaa kiinteillä suojaväleillä liikkuvien suojavälien sijaan. Lontoossa TBTC:n periaattein toimivan järjestelmän yhteydessä ei poistettu vapaanaolon valvontalaitteita, jolloin kulunvalvontajärjestelmän kaatuessa linjalla voidaan ajaa liikkuvien suojavälien ja jatkuvan kulunvalvonnan sijaan kiinteiden suojavälien ja pistemäisen kulunvalvonnan periaattein.

**Northern linen** modernisointikustannukset olivat yhteensä 370 miljoonaa euroa, josta 48 miljoonaa euroa oli Ahlstomin osuus junien päivityksestä uuteen kulunvalvonta- ja puoliautomaattiohjausjärjestelmään. Kuten Jubileen tapauksessa, Thales toimitti linjan CBTC-järjestelmän, joka mahdollisti teoreettisesti 100 sekunnin vuorovälin. Linjan infrassa on kuitenkin pullonkaula Camden Townin asemalla linjan runko-osuudella, mikä rajoittaa käytännön vuorovälin 120 sekuntiin. Puoliautomaattiliikenne (GoA2) alkoi vuonna 2014.

**Victoria line** on linjojen Jubilee ja Northern lisäksi kolmas Lontoossa modernisoitu linja. Victoria line on ollut avaamisestaan lähtien vuodesta 1968 puoliautomaattimetro, jossa kuljettaja hoitaa asematoiminnot. Vuosina 2002–2008 linjan liikenteenohjausjärjestelmä, varikot ja kalusto uusittiin siten, että linjan vuoroväliä laskettiin 133 sekunnista sataan sekuntiin. Modernisointiprojektin aikana arkipäivien liikennöintiä ei keskeytetty. Projektin aikana linjalle ei rakennettu laituriovia.

Edellisten projektien jälkeen Lontoossa on tällä hetkellä käynnissä Four Lines Modernisation Project (4LM), joka sisältää neljän metrolinjan modernisoinnin: Circle, District, Hammersmith & City sekä Metropolitan, jotka

kulkevat laajalti samoilla raiteilla. Yhteensä 6,1 miljardin euron projekti sisältää 192 uutta junaa, uuden keskitetyn liikenteenohjauksen sekä 161 raidekilometrin, 113 aseman ja neljän varikon modernisoinnin. Thales toimittaa hankkeeseen uudet liikenteenohjaus- ja automaatiojärjestelmät 860 miljoonan euron sopimuksella. Uudet järjestelmät mahdollistavat vuorovälin laskemisen runko-osuudella 112 sekuntiin ja puoliautomaattiajon (GoA2). Ennen nykyistä vuonna 2016 Thalesin ja TfL:n välillä solmittua sopimusta neljän linjan modernisoinnista, TfL oli tehnyt 390 miljoonan euron sopimuksen samasta työstä Bombardierin kanssa vuonna 2011. Kuitenkin jo vuonna 2013 TfL ja Bombardier purkivat sopimuksen yhteisellä päätöksellä.

---

*Lontoo: Vanhoja metrolinjoja voidaan päivittää kulkemaan 100 s vuorovälillä ilman laituriovien asentamista, keskeyttämättä arkiliikennettä ja ilman metrojunien täyttää automatisointia.*

---

## Tukholma

Tukholman alueen joukkoliikenteestä vastaava kuntayhtymä, Storstockholms Lokaltrafik (SL), sopi Ansaldo STS:n (nykyään osa Hitachi Railia) kanssa 80 M€ sopimuksen Tukholman metrojärjestelmän punaisen linjan kulunvalvonnan modernisoinnista vuonna 2010. Punainen linja on kahden metrolinjan muodostama kokonaisuus, joka haaroittuu linjojen yhteisen runko-osuuden molemmissa päissä ja joka koostuu 41 kilometristä linjaraidetta ja 36 asemasta. Metrolinjojen vuoroväli ruuhka-aikaan on 5 minuuttia (300 s), jolloin yhteisellä osuudella vuoroväli on 2,5 minuuttia (150 s). Modernisointiprojektin tavoitteina oli nostaa metrolinjan kapasiteettia tihentämällä vuoroväliä 90 sekuntiin linjan runko-osuudella. Tavoitteen saavuttamiseksi kulunvalvontajärjestelmässä oli määrä siirtyä kiinteistä suojaväleistä liikkuviin suojaväleihin CBTC-kulunvalvontajärjestelmällä. Modernisointiprojektiin ei liittynyt metrolinjan automatisointi, johon oli kuitenkin määrä valmistautua myöhemmin tulevaisuudessa.

Projekti oli tarkoitus saada valmiiksi 2014, mutta projekti oli edelleen kesken 2017. Kustannusarvio oli tällöin kasvanut 80 miljoonasta eurosta sataan miljoonaan euroon. SL irtisanoi sopimuksen yksipuolisesti, jonka päätöksen Ansaldo riitautti 2018. SL:llä ei ollut luottamusta Ansaldoon hankkeen toteuttamisesta, vaikka Ansaldon mukaan työt olivat jo 60 % valmiita. Ansaldon mukaan SL ei osannut antaa pyydettyjä tietoja eikä hallinnut omaa henkilöstöään riittävän hyvin hankkeen kannalta. Tällä hetkellä osapuolet ratkovat kiistaa oikeusteitse, ja metroa ajetaan saman järjestelmän pohjalta kuin ennenkin. Modernisointiprojektin ohella linjalle hankittiin myös uutta kalustoa ja uusi varikko, joiden toteutus sujui ongelmitta.

---

*Tukholma: Vanhojen metrojärjestelmien päivittäminen on haastavaa ja hankkeen kariuduttua projekti voi helpostikin johtaa oikeusprosesseihin.*

---

## Glasgow

Glasgow'n metrojärjestelmä koostuu yhdestä 15 aseman metrolinjasta, joka on 10,5 kilometriä pitkä ympyräraata. Junat ovat kansainvälisessä vertailussa pieniä: ne ovat 36 metriä pitkiä, ja ajavat tunneleissa, joiden

halkaisija on 3,35 metriä. Ensimmäisen modernisointiprojektin valmistuttua 1980, junat kulkivat automaattiohjauksella asemien välillä, ja kuljettaja vastasi asematoiminnoista (GoA2). Vuonna 2016 Glasgow'n alueen joukkoliikenteestä vastaava kuntayhtymä Strathclyde Partnership for Transportation (SPT) teki sopimuksen Ansaldo STS:n (Nykyään osa Hitachi Railia) ja Stadlerin kanssa metron toisesta modernisointiprojektista. Sopimuksen arvo oli 230 miljoonaa euroa, josta Stadlerin osuus oli 110 miljoonaa euroa sisältäen 17 uuden junan toimituksen. Ansaldo'n osuus sopimuksesta oli 120 miljoonaa euroa sisältäen uuden kulunvalvontajärjestelmän, automaattiohjausjärjestelmän ja laituriovet. Modernisointiprojektin tavoitteena on nostaa palvelutasoa vuorovälien tihennyksellä neljästä minuutista kolmeen minuuttiin (240 s → 180 s). Lisäksi metrojärjestelmän automaatiotaso nousee GoA2-tasolta GoA4-tasolle, kun uudet junat ja infrastruktuuri varustetaan täysin itsenäiseen ajoon kykenevillä järjestelmillä.

---

*Glasgow: Metrojärjestelmän modernisointikulut ovat samalla tasolla muiden eurooppalaisten metrojen modernisointikulujen kanssa, vaikka linja on hyvin lyhyt ja junia on verrattain vähän.*

---

## Oslo ja Kööpenhamina

Sekä Oslossa että Kööpenhaminassa toteutetaan suuria modernisointiprojekteja: Kööpenhaminassa modernisoidaan koko kaupunkijunaverkoston (*S-bane*) liikenteenohjausjärjestelmä ja Oslossa modernisoidaan koko metroverkoston liikenteenohjausjärjestelmä (*T-bane*). Kummassakin tapauksessa tarve modernisoida koko linjaston liikenteenohjausjärjestelmä kerralla syntyy linjaston mallista: kaikki linjat kulkevat yhteisen runko-osuuden kautta (Kööpenhaminassa yhtä linjaa lukuun ottamatta), jolloin koko kaupunkijuna-/metrojärjestelmän kapasiteetti määrittyy yhden linjaosuuden perusteella. Sekä Oslossa että Kööpenhaminassa on ehdotettu runko-osuuden muodostaman pullonkaulan ratkaisemista rakentamalla runko-osuuden päiden välille toinen tunneli, jolle voidaan ohjata osa haarojen linjoista ja siten kasvattaa haarojen vuoroväliä.

Oslossa runko-osuudelle rinnakkaista runko-osuutta on suunniteltu pidemmälle ja se voi toteutua. Nykyisen linjaston liikenteenohjausjärjestelmän modernisointi ei ole tällä hetkellä tekeillä, mutta CBTC-järjestelmän toteuttamiseen tähtäävän projektin kilpailutus alkoi syyskuussa. Nykyinen liikenteenohjausjärjestelmä on aikansa elänyt, jonka vanhimmat osat ovat 1960-luvulta. Lisäpainetta sekä CBTC-päivitykseen että toiseen runko-osuuteen synnyttää metron tulevat laajennukset, joista entisen lentokentän alueen Fornebusken metrohaara on päätetty rakentaa. Linja liittyisi nykyiseen verkostoon tämänhetkisen runko-osuuden länsipäähän. Nykyinen metroverkosto muodostuu viidestä metrolinjasta 85 kilometriä pitkällä linjaverkostolla, 101 asemalla ja 115 kolmen yksikön metrojunalla. Oslossa CBTC-projekti aloitettiin vuonna 2015, ja projektin tavoitteena on GoA2-tason puoliautomaattinen metrolinjen liikenne. Täysiautomaattinen GoA4-liikenne ei ole toimiva vaihtoehto, sillä uusimman kalustosarjan päivitystä täysiautomaattiseen liikenteeseen pidettiin liian kalliina ja riskialttiina. Lisäksi Oslossa päädyttiin siihen lopputulokseen, että miehittämättömiä ulkoasemia, joita enemmistö asemista on, ei ollut kannattavaa päivittää täysiautomaattiseen liikenteeseen soveltuviksi. Kaikki nykyiset junat päivitetään yhteensopiviksi puoliautomaattisen CBTC-järjestelmän kanssa, mutta vanhan kaluston lisäksi ostetaan myös uutta kalustoa.



Kööpenhaminassa kaupunkijunan modernisointiprojektin on nykytilanteen mukaan määrä valmistua vuonna 2021, kolme vuotta alkuperäisestä aikataulusta myöhässä. Liikenteenohjausjärjestelmän uusimisen toteuttaa Siemens. 252 M€ projektiin sisältyy runko-osuuden vuorovälin lyhentäminen 120 sekunnista 100 sekuntiin. Vuorovälin lyhentyminen toteutetaan asentamalla vuosituhannen vaihteesta hankittuun kalustoon CBTC-järjestelmä yhdessä radan varteen asennettavien CBTC-laitteiden lisäksi. CBTC-järjestelmä otettiin käyttöön aluksi 25 kilometriä pitkällä linjaosuudella järjestelmän testaamiseksi. Uusi liikenteenohjausjärjestelmä mahdollistaa myös huippunopeuden nostamisen 100 kilometristä tunnissa 120 kilometriin tunnissa. Kaupunkijunalinjastoa ajetaan 170 km linjakilometrillä, 84 asemalla ja 135 junalla, joista 104 on kahdeksan vaunun junaa ja 31 neljän vaunun junaa. Kööpenhaminassa suunnitellaan siirryttävän 2020-luvun puolivälistä alkaen kuljettajattomaan kaupunkijunaliikenteeseen (GoA3/4) nykyisen kaluston saavuttaessa käyttöikänsä pään. Täysautomaattinen ajo on tarkoitus aluksi toteuttaa 2024–2026 valmistuvalla uudella keskustan kehämäisellä Cityringen-metrolinjalla, jonka jälkeen muut kaupunkijunalinjat päivitetään kuljettajattomaan ajoon nyky suunnitelmien mukaan 2036 mennessä. Tulevaan päivitykseen sisältyy kaluston uusimisen lisäksi laituriovien asentaminen, mutta tulevaisuuden vaatimukset liikenteenohjausjärjestelmälle on jo otettu huomioon nykyisessä liikenteenohjausjärjestelmän modernisointiprojektissa. Kööpenhaminan nykyinen kahden linjan muodostama haaroitettu metrolinja rakennettiin ja avattiin alusta alkaen täysautomaattisena (GoA4) vuonna 2002.

---

*Oslo ja Kööpenhamina: Kaikille linjoille yhteinen runko-osuus rajoittaa koko linjaston kapasiteettia – molemmissa tapauksissa ratkaisu on CBTC-kulunvalvontajärjestelmän asennus.*

---

### Pariisi

Pariisissa on täysautomatoitu kaupungin vanhin ja käytetyin metrolinja 1, joka kulkee kumipyörillä. Tällä hetkellä samaa automatisointityötä tehdään linjalle 4, joka on kaupungin toiseksi käytetyin metrolinja. Linjat ovat 16,6 ja 12,1 kilometriä pitkiä ja niillä on 25 ja 27 asemaa. Molempien projektien taustalla oli linjojen ruuhkautuminen, ja tavoitteena oli nostaa kapasiteettia uusimalla kulunvalvonta ja asentamalla täysautomaattiohjaus.

Linjan 1 automatisoi Siemens vuosina 2007–2012. Projektin kustannukset olivat 600 miljoonaa euroa, josta 400 miljoonaa euroa oli uuden kaluston hinta, 150 miljoonaa euroa uuden kulunvalvontajärjestelmän hinta ja 50 miljoonaa euroa laituriovien hinta. Laturiovien asentamisen takia asemia jouduttiin sulkemaan. Asemien sulkeminen ei kuitenkaan aiheuttanut merkittävästi häiriöitä, sillä asemat ovat hyvin lähellä toisiaan. Projektin aikana linjalla ajettiin sekä kuljettajan ohjaamia junia että automaattijunia 105 sekunnin vuorovälillä. Projektin valmistuttua junat kulkevat täysautomaattisesti 85 sekunnin välein (GoA4-taso). Vuorovälit ovat merkittävästi pienemmät muihin metroihin verrattuna, sillä linjoilla 1 ja 4 metrojunilla on kumipyörät. Kumipyörät mahdollistavat nopeamman jarrutuksen ja siten myös lyhyemmät turvavälit kuin metallipyörillä. Linjan 4 automatisointiprojektin toteuttaja on myös Siemens, ja projektin tavoitteena on täysin automaattinen metrolinjan liikenne vuonna 2022. Työn sisältö on sama kuin linjalla 1, ja projektin hinta on 260 miljoonaa euroa.

---

*Pariisi: Laturiovet voidaan asentaa jokaiselle asemalle yksitellen sulkeamalla yksi asema kerrallaan, jolloin koko linjan metrolinjan liikenne ei katkea.*

---

## Vertailuhankkeiden tunnuslukuja

Ulkomaisten metrojärjestelmien modernisointiprojektien vertailua keskenään hankaloittaa eri hankkeiden erilaiset lähtökohdat, erilaiset lähtökohtien pohjalta tehdyt toimenpiteet ja erilaiset tavat laskea kustannuksia yhteen. Hankkeiden kustannuksista lähinnä vain uuden kaluston hinta on tilastoinnin osalta vertailukelpoista – toisaalta kalustonkin kustannusten vertailua vaikeuttaa esimerkiksi vaunujen erilaiset ominaisuudet ja tilausmäärät.

Liikenteenohjausjärjestelmien modernisointikustannukset voivat vaihdella merkittävästi hankkeiden välillä monesta syystä. Lisäksi hankkeiden kustannuksia voi sisältyä junakaluston kustannuksiin ja/tai infraparannusten kustannuksiin. Alla olevaan taulukkoon on koottu edellä mainittujen modernisointiprojektien tunnuslukuja, sekä lisäksi muutamien muun kaupungin käynnissä olevien kaupunkien hankkeiden tiedot. Kilometrikustannus on laskettu karkeasti jakamalla järjestelmäpäivityksen kustannus linjan kilometrimäärällä. Kalustokustannus on vastaavasti karkeasti laskettu, ja sarakkeen tarkoitus on olla suuntaa antava.

*Taulukko 1. Ulkomaisten metrojärjestelmien modernisointiprojektien tunnuslukuja. Esitetyissä kustannuksissa ei ole otettu huomioon rahan arvon muutosta ja valuuttakurssivaihteluja projektin alkamisen jälkeen.*

Kaupunki	Automaatio	Kapasiteetti (juna/h)	Päivityksen kohde	Kustannus	Kustannus / km Kustannus / juna
<b>Tukholma</b> Röda linjen 2010-2018	GoA 1 → 1, myöh. → 4	24 > 30 > 36	41 km 36 asemaa	80 > 100 M€ <b>ei toteutunut</b>	2,4 M€ / km 4,9 M€ / juna
<b>Kööpenhamina, S-bane</b> 2011-2021	GoA 1 → 2	30 > 36	170 km 84 asemaa	252 M€	1,4 M€ / km
<b>Oslo, T-bane</b> 2013-2023	GoA 1 → 2	24 > 32	85 km 101 asemaa	CBTC-järjestelmän kilpailutus käynnistyy syksyllä 2019	-
<b>Nürnberg, U2 &amp; U3</b> 2000-2010	GoA 1 → 4	18 > 36	22,3 km 23 asemaa	110 M€ automaatio 140 M€ 32 juna	5,2 M€ / km 4,4 M€ / juna
<b>Lontoo, Jubilee</b> 2002-2011	GoA 1 → 2	30	26 km 27 asemaa	800 M€	30,7 M€ / km
<b>Lontoo, Northern</b> -2012	GoA 1 → 2	30	58 km 50 asemaa	370 M€	6,4 M€ / km
<b>Lontoo, 4LM</b> 2011-2023	GoA 1 → 2	25 > 32	161 km 113 asemaa	860 M€ järjestelmä 1,7 mrd.€ 192 juna	5,3 M€ / km 8,9 M€ / juna
<b>Glasgow</b> 2011-	GoA 2 → 4	15 > 20	10,5 km 15 asemaa	120 M€ automaatio 110 M€ 17 juna	11,4 M€ / km 6,5 M€ / juna
<b>Bryssel, Linjat 1 &amp; 5</b> 2016-	GoA 1 → 2, myöh. → 4	24 > 30 > 36	35 km 37 asemaa	88 M€ automaatio 353 M€ 43 juna	2,5 M€ / km 8,2 M€ / juna
<b>Pariisi, Linja 1</b> 2007-2012	GoA 1 → 4	42 kumipyörä	16,6 km 25 asemaa	150 M€ automaatio 400 M€ junat 50 M€ laituriovet	9,0 M€ / km 8,2 M€ / juna
<b>Pariisi, Linja 4</b> 2016-2022	GoA 1 → 4	42 (kumipyörä)	12,1 km 27 asemaa	70 M€ automaatio	5,8 M€ / km

### 3. Markkinavuoropuhelu, UITP:n asiantuntijat

#### Markkinavuoropuhelut

Työn yhteydessä järjestettiin kaksipäiväinen markkinavuoropuhelutilaisuus. Tilaisuudessa oli aluksi yhteinen avajaistilaisuus, jossa HKL esitteli pääkaupunkiseudun metron nykytilaa ja kuvaili kapasiteettiin riittävyyteen liittyviä haasteita. Tämän jälkeen käytiin halukkaiden kanssa kahdenkeskeisiä, kahden tunnin mittaisia keskusteluja. Keskusteluissa palvelu-/järjestelmätoimittajat saivat esitellä ratkaisumallejaan kapasiteetin lisäämiseksi. Kahdenkeskisiin keskusteluihin osallistuneita toimittajayrityksiä oli yhteensä kuusi. Näistä suurin osa oli tunnettuja, kansainvälisiä toimijoita.

Palvelutoimittajat olivat sillä kannalla, että CBTC on soveliaain ratkaisu liikenteenohjausjärjestelmän kehittämiseen. Kaikki toimijat toivat vahvasti esille sen, että brown field -projektissa (vanhan järjestelmän uusiminen) on huomattavasti enemmän haasteita kuin green field -projekteissa, joissa rakennetaan liikenteenohjausjärjestelmä uuden ratahankkeen yhteydessä.

Markkinavuoropuhelussa käydyt keskustelut eivät ole julkisia. Niiden keskeinen sisältö on huomioitu raportissa.

#### UITP:n asiantuntijoiden näkemys

Kansainvälisen joukkoliikenneliiton UITP:n asiantuntijoilta kysyttiin sähköpostikyselyllä kokemuksista erilaisista kapasiteetin noston keinoista sekä pääkaupunkiseudun metrolle sopivista esimerkkikaupungeista, joissa ratkaisuja kapasiteetin lisäämiseksi on käytetty. Sähköpostikyselyn jälkeen järjestettiin lisäksi tapaaminen UITP:n asiantuntijoiden kanssa, ja kapasiteetin noston keinoista keskusteltiin tarkemmin. Näitä vastauksia on hyödynnetty raportissa.

UITP:n asiantuntijoiden mukaan kapasiteetin nostamiseksi vanhoilla metrolinjoilla on varsin rajatut vaihtoehdot:

- Uusimalla liikenteenohjausjärjestelmä CBTC-tekniikkaan perustuvaksi.
- Vuorovälin lyhentäminen ja matkanopeuden kasvattaminen optimoimalla jarrutuskäyriä, pysäkkiaikoja ja liikenteen ohjauksen järjestelmiä.
- Metrojunien kapasiteetin kasvattaminen istuinjärjestystä muuttamalla tai hankkimalla uutta kalustoa, jonka kapasiteetti on suurempi; esimerkiksi junan läpikäveltävyyden ansiosta.
- Ohittamalla osa asemista ruuhkasuunnan vastaisessa suunnassa, jolloin kalusto kiertää järjestelmän läpi nopeammin palvelemaan kuormittuneempaa ruuhkasuuntaa.

UITP:n mukaan täysautomatisointi mahdollistaa jopa 60-90 sekunnin vuorovälit (rajoittavana tekijänä junien pituus). Pariisissa kumipyörämetrolinjan 1 kapasiteetti kasvoi 30 % täysautomatisoinnin jälkeen.

UITP linjasi metron turvallisuus- ja opastusjärjestelmien tämänhetkinä megatrendeinä, että täysautomaattisille metrolinjoille CBTC-kulunvalvontajärjestelmät ovat yleisin valinta. 87 % viimeisen vuosikymmenen aikana

avatuista täysautomaattimetroista perustuvat CBTC-kulunvalvontaan. CBTC-tekniikka kehittyi kohti autonomisia junia, ja erityisesti kiinalaiset valmistajat peräänkuuluttavat CBTC-järjestelmien yhteensopivuutta, mitä metroliikenteen operaattorit ovat jo kauan toivoneet.

Yleisin turvallisuusratkaisu on laituriovet, jotka on asennettu 87 % viimeisen vuosikymmenen aikana avatuista asemista. Erityisesti Koreassa on kehitetty pystysuunnassa liikkuvia laituriovia, mikä voi mahdollistaa metrojärjestelmien päivitysprojektit tilanteissa, joissa kalusto ei ole ovisijoittelultaan yhtenäinen. Barcelonassa SNCF ja TMB ovat kokeilemassa tätä ratkaisua.

UITP:n asiantuntijoilta kysyttiin esimerkkejä kaupungeista, joissa asemalaitureita olisi pidennetty. Lillessä pidennetään parhaillaan kolmea maanalaista asemaa täysautomaattisen A-metrolinjan kapasiteetin tuplaamiseksi. Muut asemat ovat jo enimmäkseen tarpeeksi pitkiä. Melbournissa pidennetään parhaillaan 13 maanpäällisen aseman laitureita kolmella kaupunkijunalinjalla kapasiteetin kasvattamiseksi.

Metrojunien pidennykset pidentämättä laitureita ei ole tuttu ratkaisu UITP:n asiantuntijoille, sillä se aiheuttaa ongelmia matkustajien turvallisen evakuoinnin ja pysäkkiaikojen suhteen. Junat voisivat mahdollisesti olla hieman laitureita pidempiä, jolloin junien päädyt olisivat laitureiden ulkopuolella, mutta kaikki ovet laiturialueella, jolloin kuljettaja valvoisi matkustajien liikkeitä videokameroiden kautta. Ratkaisuna voisi olla junien erilliset perävaunut, jotka jäisivät tunneliin ja jotka brändättäisiin pitkämatkalaisille.

### Suosituksien tutustumismatkakohdeiksi

UITP:n asiantuntijoiden mukaan toistaiseksi vain Nürnbergin metrolinja U2 ja Pariisin metrolinja 1 ovat modernisoitu kuljettajaohjauksesta täysautomaattisiksi. Tämän lisäksi täysautomaatisointia suunnitellaan tai toteutetaan Brysselissä metrolinjoille L1 ja L5, Glasgow'n metrossa, Lontoon DLR-järjestelmässä, Lyonin metrolinjoilla LA ja LB, Marseillen metrolinjoilla L1 ja L2, Pariisin metrolinjalla L4 ja Wienin metrolinjoilla U2 ja U5.

## 4. Keinot kapasiteetin nostamiseksi

### Yleistä

Työssä on arvioitu useita vaihtoehtoja metron kapasiteetin nostamiseksi. Seuraavassa taulukossa on jaoteltu kapasiteettiin vaikuttavia tekijöitä ja toimenpiteitä. Lisäksi on arvioitu toimenpiteiden hintaa ja vaikuttavuutta. Jatkossa kutakin toimenpidettävää on kuvattu tarkemmin.

Taulukko 2. Kapasiteettiin ja luotettavuuteen (häiriöherkkyys, turvallisuus) vaikuttavia tekijöitä metroympäristössä.

Vaikuttava tekijä	Parannustoimenpide	Hinta	Vaikutus kapasiteettiin	Vaikutus luotettavuuteen
<b>Vuorovälin lyhentäminen teknisillä ratkaisuilla</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nykyjärjestelmän kehitys pistemäisellä kulunvalvonnalla</li> <li>Jatkuva kulunvalvonta ja puoliautomaattiohjaus</li> <li>Jatkuva kulunvalvonta ja täysiautomaattiohjaus</li> <li>Täysautomaattiohjaus puoliautomaatin jälkeen</li> </ul>	Korkea Korkea Korkea Korkea	Keskitaso Suuri Suuri Vähäinen	Keskitaso Suuri Suuri Suuri
<b>Junan kiihtyvyys/jarrutus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimoidaan junan suorituskyky</li> <li>Uudet junat, joissa parempi kiihdytys/jarrutus</li> </ul>	Matala Korkea	Vähäinen Keskitaso	Vähäinen Keskitaso
<b>Pysähtymisaika asemalla</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Junaan ja junasta ulos kulkemisen ohjaus ja lomittaminen</li> <li>Matkustajainformaatio/kuulutukset</li> <li>Avustajat laiturilla</li> </ul>	Matala Matala Keskitaso	Vähäinen Vähäinen Keskitaso	Vähäinen Vähäinen Keskitaso
<b>Infraratkaisut</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pidemmät laiturit (+ junat), useampia kulkuja asemalaiturille</li> <li>Kaksi laituria vilkkaimilla asemilla. Matkustajat poistuvat toiselle puolelle ja tulevat toiselta puolelta kyytiin</li> <li>Kääntöraideratkaisut</li> <li>Sammalvuoren varikon liityntä eritasoiseksi</li> <li>Poistetaan alhainen nopeusrajoitus Itäkeskuksessa</li> </ul>	Erittäin korkea Erittäin korkea Korkea  Korkea  Korkea	Suuri  Suuri  Keskitaso–suuri* Keskitaso–suuri* Keskitaso	Suuri  Suuri  Keskitaso–suuri* Keskitaso–suuri* Keskitaso
<b>Kalusto</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pidemmät junat nykyisillä laitureilla</li> <li>Leveämmät ovet/enemmän ovia junissa</li> <li>Metrojunien sisäkapasiteetin kasvattaminen</li> <li>Avarammat eteistilat junissa</li> </ul>	Korkea Korkea Keskitaso Matala	Keskitaso Keskitaso Keskitaso Keskitaso	Vähäinen Keskitaso Keskitaso Keskitaso
<b>Laituriovet (PSD)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>GoA4:ssä käytettävät laituriovet tuovat paremman kontrollin matkustajavirtoihin</li> </ul>	Korkea	–	–
<b>Kääntöajat päätepuskilla</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kuljettajien määrän lisääminen</li> <li>GoA4 automaattikäyttö muutoin GoA2-järjestelmässä</li> <li>Etukääntö</li> </ul>	Matala Keskitaso Matala	Keskitaso Keskitaso Vähäinen	Keskitaso Keskitaso –
<b>Varikko ja huoltoolosuhteet</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Otetaan GoA4 käyttöön varikolla poistamaan viiveitä</li> </ul>	Keskitaso	Vähäinen	Vähäinen
<b>Liikennöinti</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>75 % kääntö Kivenlahdessa 25 % Tapiolassa</li> <li>Bussien lisätarjonta</li> </ul>	Keskitaso Keskitaso	Keskitaso Keskitaso	– –

\*Sammalvuoren varikon eritasoliittymän ja kääntöraideratkaisujen vaikutuksista on käynnissä tarkempia tarkasteluja, joissa toimenpiteiden vaikutus tarkentuu.

## Vuorovälin lyhentäminen nykyjärjestelmien pohjalta pistemäisellä kulunvalvonnalla

Nykyisen liikenteenohjausjärjestelmän pohjalta vuoroväliä voisi tihentää lyhentämällä ohiajovaroja. Ohiajovaroja voidaan lyhentää, jos voidaan varmistaa junan pysähtyminen ohiajovaran matkalla. Tämä vaatisi vähintään rautateiden JKV-kulunvalvontajärjestelmää vastaavaa pistemäistä kulunvalvontaa, joka vaatii uutta laitteistoa raiteille ja kalustoon. Uusien laitteiden asentaminen, integroiminen asetinlaitteen toimintaan ja testaaminen vie aikaa ja vaatii todennäköisesti katkoksia metroliikenteeseen.

Uuteen kulunvalvontajärjestelmään investoiminen on erittäin todennäköisesti vain väliaikainen ratkaisu, koska se ei tuota riittäviä kapasiteettihyötyjä. Investoinnin suuruus vastaa merkittävää osaa CTBC-tekniikkaan pohjautuvan järjestelmän hankinnasta, minkä takia investoinnin hyöty-kustannussuhde lyhyen käyttöiän takia on kyseenalainen.

*Vuorovälin lyhentäminen nykykulunvalvontajärjestelmän pohjalta ei todennäköisesti tarjoa riittävästi kapasiteetti- ja luotettavuushyötyjä työmäärään ja kustannuksiin nähden. Tätä on kuitenkin tarpeen selvittää tarkemmin.*

## Vuorovälin lyhentäminen jatkuvalla kulunvalvonnalla ja puoliautomaattisella ohjauksella

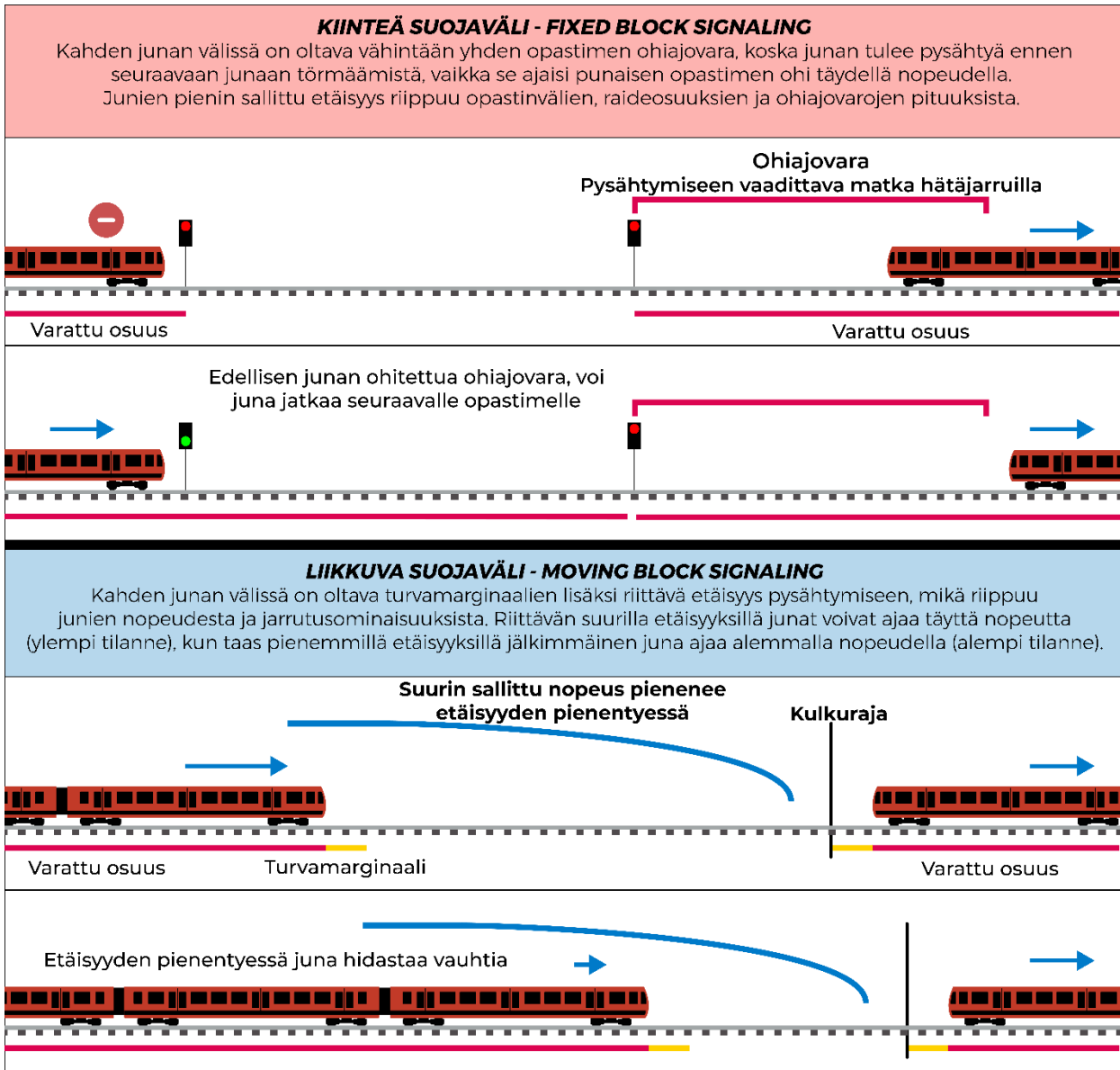
Luonteva vaihtoehto nykyjärjestelmän päivitykselle on siirtyä jatkuvaan kulunvalvontaan. Jatkuvassa kulunvalvonnassa juna saa reaaliaikaisesti tiedon edellisen junan etenemisestä eikä pelkästään kiinteiden baliisien välityksellä. Jatkuvassa kulunvalvonnassa ja liikkuvien suojavälien periaatteella toimivassa järjestelmässä junien välillä on vain tarvittava pysähtymismatka ja turvallisuuden kannalta vaadittu ylimääräinen turvamarginaali. Maailmalla suurin osa metrojärjestelmien päivityksistä perustuu CBTC-järjestelmiin.

CBTC-järjestelmän suurin lisäys kapasiteettiin saavutetaan, kun metrojen ohjauksessa siirrytään täysin manuaalisesti ajettavista junista puoliautomaattisiin tai täysiautomaattisiin juniin, eli GoA1-tasolta tasoille GoA2–GoA4. Jo tason 2 puoliautomaattisuudella (juna ajaa itse asemavälit, kuljettaja hoitaa asematoiminnot ja häiriötilanteet) metrojärjestelmässä voidaan saavuttaa 90–120 s vuoroväli.

Puoliautomaattinen metro ei vaadi laituriovia tai korvaavia laituriosuoksien valvontajärjestelmää. Puoliautomaattisessa metrojunassa on edelleen kuljettaja, jonka vastuulla on tehdä hätäjarrutus, jos raiteille päätyy sinne kuulumattomia asioita. Lisäksi puoliautomaattisessa metrossa kuljettaja kykenee havainnoimaan matkustajien siirtymistä laiturilta junaan ja junasta pois automaattijärjestelmää paremmin, jolloin pysähtymisaika laiturilla on tietyissä tilanteissa nykyistä lyhyempi. Kuljettaja voi sulkea ovet asetettua asema-aikaa nopeammin, ja tilanteessa, jossa matkustaja menee sulkeutuvien ovien väliin, voi kuljettaja nopeammin sulkea ovet uudestaan. Puoliautomaattinen metrojärjestelmä on kuitenkin myös toteutettavissa yhteensopivaksi laituriovien kanssa.

Markkinavuoropuhelun perusteella järjestelmätoimittajien näkemys on, että M100- ja M200-sarjan junat on mahdollista päivittää CBTC-laittein ja puoliautomaattiajoon, mutta teknistä sopivuutta ei ole tutkittu tarkemmin. CBTC-radioyhteyden optimaalista taajuusaluetta ei ole myöskään tutkittu tässä työssä: maailmalla CBTC-järjestelmien markkina on jakautunut Wi-Fi- ja LTE-radiotaajuuksien välillä, eikä kumpikaan ole osoittautunut

suositummaksi ratkaisuksi. Junien kulun automatisointi säästää myös energiaa, sillä automaattiohjaus ajaa junaa kuljettajaa tasaisemmin ja energiatehokkaammin. Yksi tulevaisuudessa ratkaistava asia on se, onko tilaajan järkevää tarjota CBTC:n vaatima radioyhteys vai onko tämä järkevää antaa palveluntoimittajan vastuulle.



Kuva 5. Visualisointi turvaväleistä kiinteiden suojavälien (Fixed Block) ja liikkuvien suojavälien (Moving Block) välillä (Miettinen 2019).

*CBTC-kulunvalvonta puoliautomaattisella ohjauksella mahdollistaa vuorovälin lyhentämisen ilman laituriovia.*

## Vuorovälin lyhentäminen jatkuvalla kulunvalvonnalla ja täysautomaattisella ohjauksella

Puoliautomaattiohjauksen sijaan voidaan investoida suoraan GoA4-tason liikenteenohjausjärjestelmään. Täysautomaattiohjauksella saavutetaan pitkälti samat hyödyt nykyjärjestelmään verrattuna kuin puoliautomaattiohjauksella. Kapasiteettilisäys puoliautomaattisen ja täysiautomaattisen metrojärjestelmän välillä ei ole läheskään yhtä merkittävä kuin kapasiteettilisäys, joka syntyy siirryttäessä kuljettajaohjauksesta puoliautomaattiohjaukseen. Täysautomaattijärjestelmään siirtymisen edellytyksenä on todennäköisesti se, etteivät M100- M200-sarjan junat ole enää liikenteessä.

Suurin hyöty täysautomaattiohjauksessa saavutetaan häiriötilanteissa, kun kuljettajien vuorovaihtoja ja taukoja ei tarvitse järjestää uudestaan. Täysautomaattiohjaus pienentää liikenteen häiriöherkkyyttä, ja peruttujen vuorojen määrä vähenee, kun lähtöjä ei tarvitse perua kuljettajavajeen vuoksi. Liikenteen täysautomatisointi ei kuitenkaan tuota kuljettajien henkilökulujen verran kustannussäästöjä, sillä turvallisuuden näkökulmasta on tarpeen pitää henkilöstöä junissa tai asemilla. Henkilöstön tehtävänä on ohjeistaa matkustajia evakuointitilanteissa. Tällaiset henkilöt olisivat "asema- tai junaisäntiä/emäntiä". Nämä henkilöt voivat olla entisiä junankuljettajia tai metrokoulutuksen saaneita järjestyksenvalvoja.

Täysautomaattiohjaus todennäköisesti vaatii laituriovet, joiden asentaminen vaatii liikennöinnin ajoittaista keskeyttämistä tai asemien sulkemista määräajaksi. Toisaalta laiturioivissa on monia hyötyjä, kuten mahdollisuus kontrolloida paremmin matkustajavirtoja laiturin ja junan välillä sekä turvallisuushyödyt. Täyteen korkeuteen rakennettuina (asemahallin lattiasta kattoon asti) laituriovet estävät raiteille kuulumattomien esineiden ja ihmisten päätyminen raiteille ja mahdollistavat metrotunneleiden ja asemahallien välisen palo-osastoinnin. Lisäksi täysikorkuiset laituriovet mahdollistavat asemahallien eristetyn ilmastoinnin. Laituriovet on mahdollista asentaa myös puolikorkeina (asemahallin lattiasta 1–2 m), jolloin ovista ei kuitenkaan saada hyötyjä palo-osastoinnista. Laituriovet voi olla mahdollista korvata laituriosuuksien valvontajärjestelmällä, jos tutkajärjestelmän tai muun vastaavan järjestelmän toiminnallisuus ulkoasemilla voidaan varmistaa riittävän hyvin. Tois-taiseksi laituriovia korvaavia valvontajärjestelmiä ei ole kyetty toteuttamaan pohjoismaisilla ulkoasemilla. Edellisessä metron automatisointihankkeessa laituriovet eivät olleet palo-osastoivia, mutta olisivat mahdollistaneet laiturialueen olosuhteiden (ilmastointi, matkustajaohjaus) hallinnan. Länsimetro ei vaadi tällaista palo-osastointia laitureille.

Maailmalla on myös metrojärjestelmiä, joissa on täysautomatisoitu metroliikenne ilman laituriovia. Tällöin tulee olla jokin muu järjestelmä, joka pysäyttää metron, kun kiskoille päätyy sinne kuulumattomia asioita. Tällaisia järjestelmiä voivat olla infrapunatutka, laserskanneri, painematto tai kehittynyt videokamerajärjestelmä. Monet tekniikat vaativat tuekseen myös videokamera-analytiikkaa, jotta häiriötilanteita voidaan ehkäistä ja niihin voidaan puuttua mahdollisimman aikaisin. Häiriötilanteita syntyy erityisesti ulkoasemilla sääilmiöiden ja eläinten vaikutuksesta.

Etenkin GoA4-tason liikenteenohjausjärjestelmään siirtyminen tulee vaikuttamaan merkittävästi pelastus- ja evakuointisuunnitelmiin, koska junissa ei ole lainkaan henkilökuntaa. Muutos voi vaatia merkittäviä lisäinvestointeja. Muutoksen vaatima lisäinvestointi voisi esimerkiksi, mutta ei välttämättä, olla Länsimetron tavoin jatkuva evakuointilaituri Helsingin kantametroon.



---

*CBTC-kulunvalvonta täysautomaattisella ohjauksella mahdollistaa vuorovälin lyhentämisen ja parantaa häiriösietoisuutta, mutta vaatii yleensä laituriovet.*

---

### Junan kiihtyvyys/jarrutus

Metron vuoroväliä voi tihentää kasvattamalla junien kiihtyvyyttä ja jarrutusnopeutta. Junien väliin voi varata lyhyemmän turvaetäisyyden, jos juna voi tehdä hätäjarrutuksen nopeammin. Asemalle voi ajaa junia tiheämmin, jos jokaisella junalla kuluu vähemmän aikaa laiturille saapumiseen ja laiturilta poistumiseen.

Yleisesti hyväksytty yläraja länsimaissa joukkoliikennevälineiden pitkittäissuunnan kiihtyvyydelle on  $1,2 \text{ m/s}^2$  matkustusmukavuuden- ja turvallisuuden näkökulmasta. Matkustusmukavuuteen vaikuttaa myös kiihtyvyyden muutosnopeus ( $\text{m/s}^3$ ), mutta yleisesti ottaen jo yli  $1,0 \text{ m/s}^2$  kiihtyvyys tekee haastavaksi seistä ilman tukea.

Moskovan metrossa saavutettu 90 sekunnin vuoroväli manuaaliohjauksella perustuu ainakin osittain suuriin kiihtyvyyksiin. Moskovassa metrojunilla voidaan arkiliikenteessä kiihdyttää ja jarruttaa  $1,3 \text{ m/s}^2$ . Keskimääräinen kiihtyvyys on pienempi, jotta liikenteen aikatauluun jätetty pelivara on riittävä. Lisäksi Moskovan metron tiheän vuorovälin ovat mahdollistaneet hyvin lyhyet pysäkkiajat, joiden päätteeksi kuljettaja sulkee ovet aikataulun mukaan, vaikka junaan pyrkisi vielä ihmisiä. Lisäksi junissa on paljon leveitä ovia, ja kulttuuristen syiden sekä ovien voimakkaan sulkeutumisen takia sulkeutuvia ovia ei yritetä estää. Moskovan metron kaikki toimintatavat eivät ole täysin yhteensopivia länsimaisen turvallisuusajattelun kanssa.

Pääkaupunkiseudun metrojunien liikkeellelähtökiihtyvyys (0–30 km/h) nykyisessä liikenteessä on välillä  $1,0$ – $1,2 \text{ m/s}^2$ . Keskikihtyvyys on pienempi pysähdyksistä täyteen nopeuteen (0–80 km/h). M100-junat ovat hieman M200- ja M300-junia hitaampia kiihtymään. Kaikkien junien suurin hidastuvuus jarruilla on  $1,2 \text{ m/s}^2$ . Junien hätäjarrut ovat tätä tehokkaampia. Pyörien jarrujen lisäksi junien teleissä on kiskojarut, jotka tarrautuvat kiskoisiin kiinni magneettisesti. Merkittävästi tehokkaampia jarruja ei ole tarjolla metallipyörillä kulkevalle raidekalustolle.

Junien kiihtyvyyksien kasvattaminen kuluttaa kiskoja tasaisempaa ajoa enemmän, mikä tihentää tarvetta kiskojen hiomiseen ja uusimiseen ja kasvattaa tätä kautta radan huoltokustannuksia. Pääkaupunkiseudun metroradan sähkönsyöttöä ollaan vahvistamassa, ja sitä voidaan tarpeen mukaan vahvistaa edelleen, joten tehokkaamman kiihtyvyyden vaatima virranoton kasvaminen ei muodostu ongelmaksi.

Junakaluston uusimisen kautta saatavilla tehokkaammilla kiihdytys- ja jarrutusominaisuuksilla ei saavuteta matkustusmukavuuden rajoissa merkittäviä kapasiteettihyötyjä.

*Pääkaupunkiseudun metrokalustolla ajetaan matkustusturvallisuus huomioiden jo lähes täydellä kiihtyvyydellä ja jarrutusnopeudella. Näitä ei siten ole perusteltua kasvattaa metron kapasiteetin nostamiseksi.*

## Pysähtymisaika asemalla

Pysähtymisaika asemalla on kriittinen kapasiteetin kannalta. Laiturilla seisova juna varaa laituriosuuden, mikä nykyjärjestelmässä estää seuraavaa junaa lähestymästä laituria alle ohiajovaran (täyden nopeuden jarrutusmatkan) etäisyydelle. Nykytilanteessa pysähdysajat rajoittavat saavutettavaa vuoroväliä.

Junien pysähtymisaikaan asemalla vaikuttaa ovien avautumiseen ja sulkeutumiseen kestävän ajan lisäksi matkustajien käytös. Mitä nopeammin poistuvat matkustajat siirtyvät junasta ulos ja junaan nousevat matkustajat pääsevät junaan sisälle, sitä lyhyemmän aikaa junat joutuvat seisomaan asemilla, mikä nopeuttaa matkaa ja mahdollistaa liikenteen operointiin lisää pelivaraa tai vuorovälin supistamisen. Ovien sulkeutumista estävät matkustajat vastaavasti haittaavat liikennettä.

Matkustajien käyttäytymiseen voidaan vaikuttaa ohjeistamalla juniin kulkeminen niin, että sisään pyrkivät matkustajat jonottavat ovien sivuilla, jolloin ulos pyrkivät matkustajat pääsevät esteettä ulos. Ulos pyrkivien matkustajien poistuttua sisään pyrkivät matkustajat pääsevät esteettä sisään. Ohjeistus voidaan toteuttaa merkittävällä nuolilla laiturille ovien kohdille kohta, josta tullaan ulos metrosta ja odottaminen merkitään sivuille. Laituriteippaukset vaativat kuljettajilta nykyistä tarkempaa pysähtymistä laiturille tai puoli-/täysautomaattista ohjausta. Laituriteippauksen lisäksi tai niiden vaihtoehtona asemilla voi olla henkilökuntaa, joka avustaa laiturilla junien täyttämisen. Lisäksi Matinkylän nykyisellä pääteasemalla on havaittu, että jos metrojuna odottaa asemalla, niin matkustajat menevät sisään lähimmästä ovesta. Jos juna tulee myöhemmin laiturille vain ottaen matkustajat kyytiin, niin matkustajat jakautuvat tasaisemmin laiturialueella.

Myös kaluston istuinratkaisut vaikuttavat junan pysähtymisaikaan asemalla. Nousevien ja poistuvien matkustajien siirtyminen junaan ja junasta on sitä nopeampaa, mitä avarampia junien eteistilat ovat. Matkustajat jäävät mieluummin seisomaan oviaukkojen lähelle kuin käytävien keskivaiheille, jolloin matkustajien siirtyminen eteistilojen läpi hidastuu. Pysäkkiaikaa voisi hieman lyhentää metrojunien eteisten avaaminen nykyistä avoimemmiksi. Jos oviaukoissa lähimmät istuimet poistetaan ja eteisestä saadaan avarampi, saadaan eteisten ruuhkaisuutta purettua ja pysäkkiaikoja lyhennettyä ruuhka-aikaan.

*Junien pysähtymisaikoja voi hieman lyhentää avartamalla junien eteistiloja ja ohjeistamalla junaan ja junasta ulos kulkemista. Jatkotarkastelussa tulee myös selvittää, miten matkustajamäärien kasvu vaikuttaa pysähtymisaikoihin.*

## Infraratkaisu: laiturien pidennykset ja kaksi laituria vilkkaimmilla asemilla

Nykyiset läntisen osuuden metroasemat on mitoitettu niin, että kahden täyden 90-metrinen metrojunan saapussa asemalle yhtä aikaa, on pelastusteiden (portaat ja liukuportaot) mitoitus riittävä turvallisen poistumisen varmistamiseksi. Jos asemille liikennöitäisiin pitkillä 135-metrillä junilla, pelastusteiltä edellytettäisiin 50 prosenttia suurempaa mitoitusta. Tämä johtaisi metroasemien mittaviin rakenteellisiin muutoksiin ja monin osin lähes uudelleen rakentamiseen. Asemalaiturien pidentäminen ja pitkillä junilla liikennöinti johtaisivat myös esimerkiksi asemien yhteydessä olevien huoltotilojen, palo-ovien, raiteenvaihtopaikkojen, vaihteiden ja opasteiden uusimiseen.

Suuri haaste on maanpinnalle usealle asemalle rakennuksiin sijoittuvat yhteydet, kuten liukuportaat ja savunpoisto. Myös ratojen pituus- ja vaakageometria ei mahdollista monellakaan asemalla laiturien jatkamista vaan edellyttäisi myös ratalinjojen uusimista ainakin osalla asemavälejä. Käytännössä asemalaitureita ei voida pidentää järkevällä kustannuksella eikä siedettävillä häiriövaikutuksilla liikennöintiin.

Samat haasteet koskevat myös lisälaitureita vilkkaimmilla asemilla. Laiturit junan molemmilla puolilla mahdollistaisivat junan purkamisen toiselta puolelta ja lastaamisen toiselta puolelta, jolloin matkustajat voisivat siirtyä junaan ja junasta pois nykyistä nopeammin. Lyhyemmät pysäkkiajat lisääisivät liikennöinnin pelivaraa ja helpottaisivat vuorovälin tihentämistä. Käytännössä toisia asemalaitureita ei voi rakentaa, sillä laiturien rakentaminen vaatisi erittäin kallista ja erittäin paljon häiriötä tuovaa asemien ja niiden ympäristön uudelleen rakentamista.

*Länsimetron laitureita ei ole perusteltua pidentää erittäin korkeiden kustannusten ja metrolienteelle aiheutuvien häiriöiden vuoksi.*

### Metrojunien pidennykset nykyisillä laitureilla

Metrojunien pidennys liittyy olennaisesti metrolaiturien pituuteen. Kuten edellä on mainittu, metron läntisen osuuden asemat on mitoitettu myös asemien kulkuyhteyksien ja turvallisuuden kannalta niin, että asemalaiturille mahtuu yhtäaikaisesti yksi 90-metrinen juna suuntaansa. 135 m junat edellyttäisivät 50 % suurempaa mitoitusta ja sen edellyttämiä rakennustoimenpiteitä.

Vaikka maailmalta löytyy joitain esimerkkejä, joissa on käytetty laitureita pidempiä junia, Länsimetron tunneliasemien osalta tämä edellyttäisi lähes samojen rakenteellisten turvallisuuden varmistavien toimenpiteiden tekemistä kuin edellä on esitetty laiturien pidentämiselle. Myös erittäin vaativat muutostyöt pitäisi tehdä liikenteen ollessa käynnissä asemilla, joiden yläpuolelle on rakennettu kauppakeskuksia ja pysäköintitiloja, joiden toimintaa myös rakentaminen vaikeuttaisi. Häiriöt liikenteelle ja esimerkiksi kauppakeskuksille tulisivat olemaan merkittävät ja rakentamiskustannukset suuret, joten vaihtoehto ei ole toteuttamiskelpoinen.

Jos liikennöitäisiin laitureita pidemmällä junilla, ei osaa metron ovista voisi avata asemilla ja erityisesti ruuhka-aikana poistuminen junasta olisi hankalaa ja nykyistä hitaampaa, joka saattaa puolestaan johtaa hitaampaan ja häiriöherkempään liikennöintiin ja tätä kautta suurempaan junaväliin ja pienempään kapasiteettiin koko metrolinjalla. Nykyistä pidempiä junia ei voi lyhentää Ruoholahdessa tai ajaa toista metrolinjaa pitkänä vain Ruoholahteen asti, sillä ensimmäisessä vaihtoehdossa pitäisi kasvattaa vuoroväliä merkittävästi, ja toisessa kapasiteetti ei riittäisi Ruoholahdesta länteen. Kumpikaan vaihtoehto ei ratkaise kapasiteetin loppumista Espoossa.

Metrojunien pidennykset nykyisillä laitureilla vaatisi myös ainakin osittaista kaluston uusimista. M300-junista ei voi muodostaa vain hieman laiturialuetta pidempiä junia, kun yksi juna on nykyisen Länsimetron laiturialueen pituinen. M200-junista voi muodostaa kolmen junan yksikön, jonka ohjaamosta ei kuitenkaan ole näkyvyyttä laiturialueelle, jos juna pysähtyy asemalle niin, että kaikista junista on pääsy laiturialueelle. Ongelman voi ratkaista asentamalla ohjaamon pysähtymispaikalle videokamerat, joista näkee laiturialueen tilanteen. M100-junista ei pysty muodostamaan kolmen junan yksikköä, jossa kaikista junista olisi pääsy laiturialueelle.

*Metrojuna ei ole perusteltua pidentää, koska se edellyttäisi kalustomuutoksia ja kalliita muutostöitä laiturialueelle. Lisäksi ratkaisu on sekava matkustajille ja lisää metron häiriöherkkyyttä.*

### Infraratkaisu: Sammalvuoren varikko ja Kivenlahden kääntöraide

Keväällä 2019 laadittiin selvitys Matinkylän kääntöraiteesta (Selvitys Matinkylän kääntöraiteesta, Ruohonen ja Bäckström 23.4.2019). Selvityksessä todetaan, että Länsimetron raiteistojen suunnittelu on tehty kuljettajametrolle. Yhteys Sammalvuoren varikolle on vain Kivenlahden suunnasta ja ylittää tasossa pohjoisen raiteen ja on sitä ongelmallisempi, mitä lyhyempi on metroliikenteen vuoroväli. Tämä aiheuttaa selkeän riskin vuorovälin tihentämiselle, koska Sammalvuoren varikkoyhteys ei toimi alle 135 s vuorovälillä. Jotta varmistetaan, että tiheällä vuorovälillä voidaan liikennöidä 100 % junista Kivenlahteen 100–120 sekunnin vuorovälillä, suositellaan Sammalvuoren varikolle toteutettavaksi eritasoratkaisu eteläraiteelle Kivenlahdesta. Lisäksi esitetään varmistettavaksi Kivenlahden kääntöraiteiden toimivuus tai Saunalahden haaraan väliaikaisen kääntöyhteyden toteuttaminen. Seuraavassa edellytykset ja vahvuudet -erittelyssä on esitetty Matinkylän kääntöraideselvityksen suositus, jossa lopputilanteessa 100 % metrojunista menee Kivenlahteen.

#### **Edellytykset**

- Ratkaisu edellyttää uuden yhteyden Sammalvuoren varikolle. Ratkaisuna esitetään eritasoa eteläraiteelle Kivenlahdesta.
- Ratkaisu edellyttää esimerkiksi Kivenlahden kääntöraiteiden kehittämistä tai Saunalahden haaraan väliaikaisen kääntöyhteyden toteuttamista. Tämä edellyttää tarkempaa suunnittelua, jotta saadaan varmuus parhaasta ratkaisusta ja tarkemmista kustannuksista.
- Jos yllä esitettyjä ei toteuta, niin automaattimetron toteutus 2030 ei onnistuu tavoitellulla 100-120 sekunnin vuorovälillä

#### **Vahvuudet**

- Selkeä matkustajille
- Mahdollistaa matkustajien palvelun metrolla vielä siinäkin tilanteessa, kun Etelä-Espoon maankäyttö kasvaa merkittävästi suuremmaksi kuin MAL-ennuste
- Väliaikainen kääntöyhteys mahdollistaa jatkon Saunalahden (tai jopa Kauklahteen)
- Ei vaaranna LM2:n aikataulua
- Alkuun voidaan liikennöidä 50% Kivenlahteen ja 50 % Tapiolaan
- Ennen automatisointia voidaan ottaa käyttöön 75% Kivenlahteen ja 25 % Tapiolaan. Tämä varmistetaan liikennöintikokeiluilla LM2 vaiheen valmistuttua.

Kuva 6. Matinkylän kääntöraideselvityksessä päädyttiin suositukseen, että kaikki metrojunat liikennöivät vuonna 2030 Kivenlahden. (Selvitys Matinkylän kääntöraiteesta, Ruohonen ja Bäckström 23.4.2019).

*Kivenlahden kääntöraideratkaisua ja Sammalvuoren varikon ajoyhteyttä varikolle on kehitettävä, jotta Kivenlahteen voidaan liikennöidä nykyistä tiheämmällä vuorovälillä.*

## Infraratkaisu: Poistetaan alhainen nopeusrajoitus Itäkeskuksessa

Pääkaupunkiseudun metrossa on yksi pullonkaulan muodostava alhainen nopeusrajoitus, joka rajoittaa koko linjan kapasiteettia. Kriittinen alennettu nopeusrajoitus on Itäkeskuksen metroaseman kohdalla lännen suuntaan liikennöitäessä. Alennetun nopeusrajoituksen syynä on osittain turvalaitetekniset syyt, jolloin turvalaitteiden uusimisella kulunvalvontajärjestelmän uusimisen yhteydessä on mahdollista nostaa tätä kriittistä nopeusrajoitusta. Toisaalta alennetun nopeusrajoituksen syynä on myös ratageometrisiä syitä, joiden ylittäminen vaatisi radan aseman uudelleenrakentamista, jonka kustannus on hyvin suuri aseman tiiviisti rakennetussa ympäristössä.

*Itäkeskuksen alennettua nopeusrajoitusta voi mahdollisesti nostaa kulunvalvontajärjestelmän uusimisen yhteydessä. Toimenpide nostaisi koko linjan kapasiteettia.*

## Ovien määrän lisääminen/ovien leventäminen

Pysäkkiaikaa voi ainakin teoriassa pienentää myös kasvattamalla ovien määrää, jolloin junien lastaus ja purku nopeutuvat. Käytännössä tämä on mahdollista vain uudella, vielä tilaamattomalla kalustolla. Näin ollen tulevat M400-junat olisivat ensimmäisiä junia, joissa voisi olla esimerkiksi 4 ovea vaunun puolta kohden nykyisen kolmen sijaan. Ovien lisääminen tai leventäminen vähentää samalla mahdollisten istumapaikkojen määrää. Ovien erilainen sijoittelu M300- ja M400-junissa olisi mahdollisen täysautomaattimetron edellyttämien laituriovien kannalta ongelmallista, mutta ovien sijoituksen muuttaminen ei silti välttämättä ole lopullinen este laituriovien asentamiselle: Koreassa on pilotoitu pystysuuntaisia laituriovia eli verhoja. Verhot ovat 8-12 metriä leveitä, ja verhojen välissä on tolpat, joissa verhot ovat kiinni. Verhoissa on tukirakenteena 50 cm välein metallilangat. Oikeilla materiaalivalinnoilla ja mukautuksella metrojärjestelmään "laituriverhot" mahdollistavat eri ovimallien kaluston ajamisen samalla linjalla laituriovien kanssa.

*Ovien lisääminen tai leventäminen pääkaupunkiseudun metrossa aiheuttaa enemmän ongelmia kuin ratkaisuja.*

## Metrojunien kapasiteetin kasvattaminen

Metrojunien kapasiteettia voidaan kasvattaa seuraavilla tavoilla:

- käytetään suurempaa mitoituskapasiteettia (=sallitaan enemmän matkustajia nykyiseen layouttiin)
- junan kalustuksen muuttaminen (=enemmän seisomapaikkoja junassa, mutta mitoitus 4 seisojaa/m<sup>2</sup> sama)
- hyödynnetään mahdollinen piilokapasiteetti.

Metron mitoituskapasiteetti on junissa nykyisin istumapaikat + 4 seisojaa/m<sup>2</sup>, jolloin yhden 90-metrinen junan maksimikapasiteetti on 708 matkustajaa. HSL:n mitoitus, 4 matkustajaa/m<sup>2</sup>, on myös muualla Euroopassa

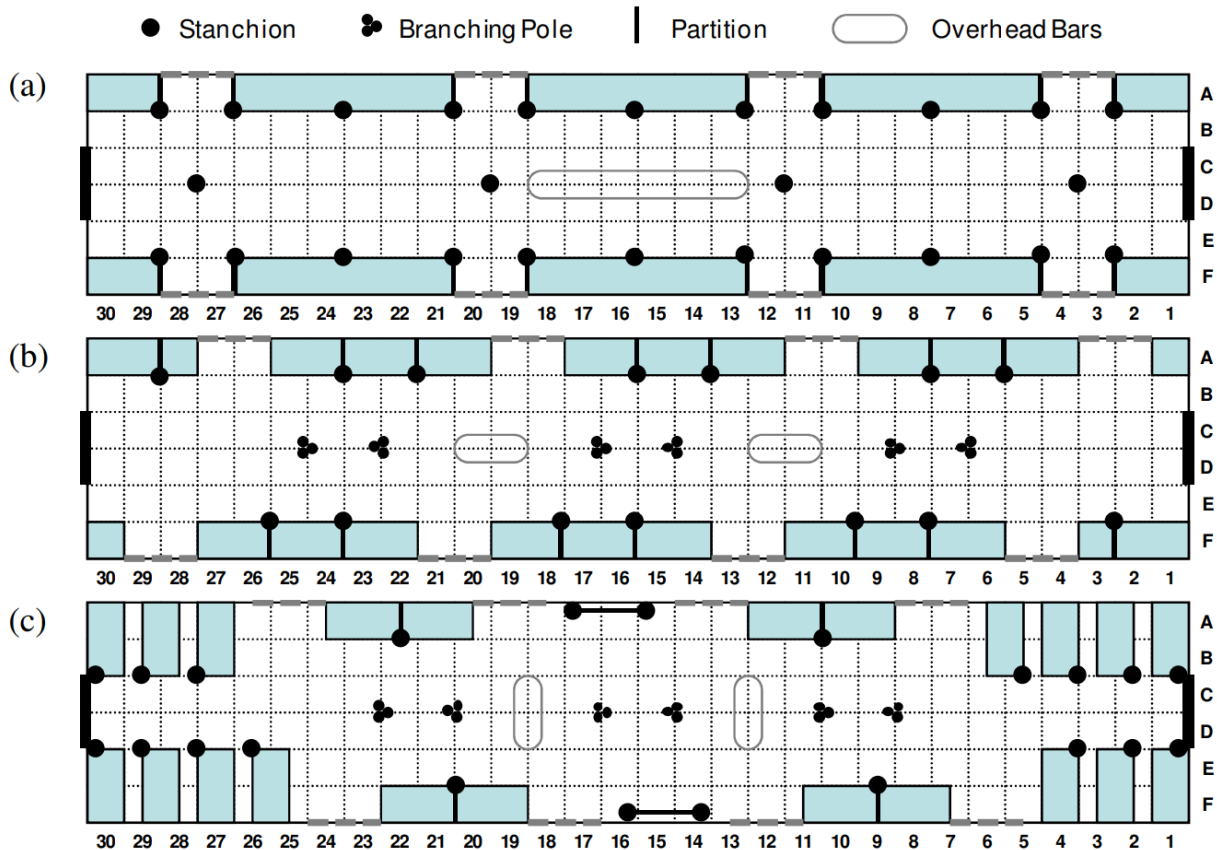
yleisesti käytössä. Tämän ylittävät matkustajamäärät koetaan liian ahtaina, vaikka kansainvälisessä vertailussa löytyykin myös esimerkkejä, joissa mitoituskapasiteetti on tätä käytäntöä tiiviimpi.

Metrojunan kapasiteettia voidaan nostaa vähentämällä istuinpaikkoja, koska seisovia matkustajia mahtuu junaan enemmän kuin istuvia. Montrealissa on nostettu kapasiteettia 10 % poistamalla 54 istuinta/juna. Brysselissä on myös vähennetty junien istumapaikkoja, mutta junien päätyjen istumapaikat on jätetty ennalleen – tällöin istumapaikkaa tarvitsevat tietävät, että istuimen löytää todennäköisimmin junan päädyistä. Muualla maailmalla on ratkaisuja, joissa junan kulkusuuntaan nähden poikittaisia istuimia on korvattu junan seinien suuntaisilla istuimilla. Lisäksi mitoituskapasiteettia voi kasvattaa taittoistuimilla, jotka suurimman kapasiteetin vaatimassa tilanteessa lukitaan pystyasentoon. Metrojunan kapasiteetin nostaminen istuimia poistamalla kasvattaa metrojunan painoa. Istuva matkustaja istuimeen painaa vähemmän kuin samassa tilassa seisovat matkustajat. Tämä on huomioitava jatkosuunnittelussa (esimerkiksi päällysrakenteiden runkomelueristyksissä), jos kapasiteettia halutaan nostaa istuinjärjestelyin.

Metron istuinjärjestelyt on mahdollista suunnitella uudestaan, jos akselipainot sallivat poistaa osan istuimista. Istuinten sijoittaminen seinustan suuntaisesti ja vaunun keskiosan pyhittäminen seisoville matkustajille on maailmalla yleistä. Lähes yhtä leveissä suomalaisen rautatieliikenteen lähijunissa istuimia on 2+3 per rivi, kun pääkaupunkiseudun metrossa istuimia on 2+2.

New Yorkissa tutkittiin vuonna 2013 ideaalista istuinjärjestelyä kaupungin metrolinjan E-junille. E-junissa on päästään suljetut metrovaunut, joissa on istumapaikkoja junan seinustan suuntaisesti. Tutkimuksen aikana todettiin, että matkustajat suosivat oviaukkoja lähimpiä istuimia, eivät suosi tai välttele tukipylväiden viereisiä istuimia ja välttelevät keskimmäisiä istuimia. Istuinten 90 % käyttöaste saavutettiin vasta, kun junassa oli 120 % istuimille mahtuvasta matkustajamäärästä. Seisovat matkustajat suosivat eteistiloja ja tuen ottamista pystytangoista kattoon kiinnitettyjen tukitankojen sijaan. Newyorkilaisen tutkimuksen suosituksena oli rakentaa junia epäsymmetrisin oviaukoin, jotta seisovat matkustajat jakautuisivat junaan tasaisemmin. Lisäksi tutkimus suositteli vain 2 paikkaa leveitä istuimia, pystytankoja kattotankojen sijaan matkustajien tukitangoiksi ja tukitankojen välttämistä suoraan oviaukon edessä. Metrolinjan E uusissa junissa ei kuitenkaan päädytty tutkimuksen suosituksiin, ja uusissa junissa uutta on lähinnä läpikäveltävyys. Vanhoista junista päädyttiin poistamaan vaunujen päätyjen istumapaikat (8 vaunua), istuimet A1, A2, F1, F2, A29, A30, F29 & F30).

Pääkaupunkiseudun metron tapauksessa metrojunan kapasiteettia ja palvelutasoa istuimien kannalta voi New Yorkin esimerkin pohjalta pohtia laajemminkin kuin vain nykymallin ja pelkästään seinustan suuntaisten istuimien välillä. Istuimien vähentämisessä on kuitenkin syytä ottaa huomioon palvelutasovaatimukset. Pääkaupunkiseudulla matkojen keskipituus on melko pitkä: keskipituus on Länsimetron ensimmäisen vaiheen avautumisen jälkeen ollut 7,9 km. Tätä aiemmin matkojen keskipituus oli 6,3 km. Länsimetron laajentuessa Kivenlahteen keskimatkat todennäköisesti edelleen pitenevät. Pääkaupunkiseudun väestö vanhenee, jolloin nykyistä useampi tarvitsee istumapaikkaa. Lisäksi junan kulkusuuntaan nähden poikittaisilla istuimilla on epämiellyttävämpää istua junan kiihdytyksissä ja jarrutuksissa. Istumapaikkojen vähentäminen ruuhka-ajalle tarvittavan kapasiteetin saavuttamiseksi heikentää palvelutasoa myös muina aikoina, ellei nykyisiä istuimia korvata taittoistuimilla, jotka lukittaisiin ruuhka-ajaksi pystyasentoon.



Kuva 7 Kolme vaihtoehtoista istuinjärjestelymallia newyorkilaisille E-metron vaunuille. Kuva a) on tutkimuksen lähtötilanne, ja kuva c) on tutkimuksen ehdotus. Kaikissa vaunuissa on 44 istumapaikkaa. Lähde: *Observed Customer Seating and Standing Behavior and Seat Preferences on Board Subway Cars in New York City*, Berkovich, A, Lu, A, Levine, B, Reddy, A.

Nykytilanteessa ruuhka-aikana junissa voi olla "piilokapasiteettiä", eli tilaa, joka ei tule käytetyksi, jos matkustajat keskittyvät vain junan toiseen päähän. M300-junissa matkustajat voivat siirtyä esteettä vaunujen välillä, mutta M100- ja M200-junissa täydestä vaunusta ei voi siirtyä väljempään. Kuulutuksilla sekä kiinteillä ja dynaamisilla opasteilla voi tiedottaa matkustajia junan eri osien täyttöasteesta, jolloin juna täyttyy tasaisemmin ja tehokkaammin matkustajista.

*Mahdollinen piilokapasiteetti tulee selvittää ja ottaa hyötykäyttöön. Lisäksi on selvitettävä, onko mahdollista lisätä kapasiteettia istumapaikkajärjestystä kehittämällä siten, että matkustusmukavuus ei kärsi.*

*HSL on käynnistänyt syksyn 2019 aikana selvityksen "Metron asiakaskokemus kapasiteetin osalta palvelumuotoilun keinoin". Työn tulokset eivät olleet valmiit tätä raporttia kirjoitettaessa.*

## Kuljettajien määrän lisääminen

Metron kääntöajat pääte pysäkeillä ovat yksi kriittisistä tekijöistä liikennöinnin luotettavuuden ja lyhyen vuorovälin kannalta. Kuljettajametron kääntymisessä pääte pysäkillä kuljettajan pitää kulkea junan päästä toiseen kulkusuunnan vaihtuessa. Tätä aikaa voidaan lyhentää merkittävästi niin, että toinen kuljettaja nousee metrojunan tulevan menosuunnan kuljettajakoppiin jo silloin, kun ajossa ollut kuljettaja lopettaa oman ajovuoronsa.

Riittävällä määrällä kuljettajia voidaan vähentää metron liikennöinnin häiriöherkkyyttä. Sairastumisten tai muiden inhimillisten tekijöiden aiheuttamia ongelmia voidaan minimoida, kun kuljettajien varajärjestelmä on riittävä poikkeustilanteiden hallitsemiseksi.

---

*Kuljettajien määrän lisäämisellä voidaan lyhentää kääntöaikoja ja vähentää liikennöinnin häiriöherkkyyttä.*

---

## Automaattiajo varikolla ja kääntöraiteilla

Metrojunien täysautomaattiset (GoA4) käännöt kääntöraiteilla voivat mahdollistaa vuorovälin tihentämistä tilanteissa, jossa metrojuna tulisi kääntää linjan pääteaseman kääntöraiteilla muutaman minuutin vuorovälillä, esim. tilanteessa, jossa yli puolet junista ajetaan Kivenlahteen. Kuljettaja aktivoisi täysautomaattisen käännön viimeisellä asemalla ja sillä välin, kun juna ajaa itsenäisesti kääntöraiteen kautta lähtölaiturille, voi junan kuljettaja kävellä junan läpi paluusuunnan ohjaamoon ja asettautua valmiiksi liikkeellelähtöön. Kuljettaja voi myös poistua junasta tulolaiturilla aktivoituaan automaattisen käännyn ja nousta junaan tulolaiturilla automaattikäännön jälkeen. Täysautomaattisilla käännöillä käännöt nopeutuvat, kun metrojuna ei seiso kääntöraiteella odotamassa kuljettajan kävelemistä junan läpi ja ohjaamoista poistumista ja asettautumista. Toisaalta kaikkien junien kääntäminen yksillä kääntöraiteilla täysautomaattikäännöistä riippumatta nostaa häiriöherkkyyttä, kun junien käännöissä on vähemmän pelivaraa viivästysten varalle.

Täysautomaattinen ajo varikkoalueilla pienentää viiveitä metrojunien lisäämisessä ja poistamisessa liikenteestä, kun kuljettajan vuoro voi alkaa Itäkeskuksen tai Kivenlahden asemilta varikoiden sijaan. Huoltotoimien yhteydessä tehtävissä junien siirroissa varikoiden sisällä tarvitaan vähemmän henkilökuntaa, mikä voi tuoda kustannussäästöä. Täysautomaattinen ajo ei lisää varsinaisen metrolinjan kapasiteettia, mutta nostaa liikenteen luotettavuutta, kun junia voidaan lisätä ja poistaa liikenteestä nopeammin. Toisaalta täysautomaattinen ajo varikolla edellyttää nykyisen varikon henkilöturvallisuuden takia merkittäviä muutostöitä.

Molemmat ratkaisut riippuvat kulunvalvonnan ja junien järjestelmien uusimisesta, ja vaativat taustalle vähintään koko liikenteen puoliautomaattiseen (GoA2) ohjaukseen kykenevän järjestelmän. Täysautomaattiset siirrot ilman matkustajia voi tehdä ilman varsinaisen linjan turvallisuussuunnitelmien muuttamista. Toisaalta molemmat ratkaisut kuuluvat täysautomaattiseen liikenteeseen.

---

*Täysautomaattiajo kääntöraiteilla voi mahdollistaa nopeat käännöt Kivenlahdessa ilman kääntösilmukkaa ja täysautomaattiajo varikolla nopeuttaa varikkotoimintoja.*

---



## Liikennöinti: metrojunista 75 % Kivenlahteen ja 25 % Tapiolaan

Tämä ratkaisu jakaa mielipiteitä. Osa pitää mallia matkustajien kannalta huonona ja häiriöherkkänä. Erityisesti Kivenlahteen asti ulottuvassa 75/25-liikenteessä koko pääkaupunkiseudun metroluonteen luotettavuuden pelätään vaarantuvan. Osan mielestä ratkaisu on kuitenkin paras tämänhetkisistä liikennöintivaihtoehdoista. Asiasta on syytä hankkia lisää tietoa.

75/25-liikennettä testataan mahdollisesti lähiaikoina suppealla aikaikkunalla Matinkylään. 75/25-liikennöinti vain Matinkylään ja vain suppealla aikaikkunalla on haastavampaa kuin pidemmällä aikavälillä ja Kivenlahteen asti. Nykyiset matkustajamäärät eivät toistaiseksi perustelee 75/25-liikennettä Tapiolasta länteen.

Kun Matinkylä–Kivenlahti-osuus otetaan matkustajaliikenteen käyttöön 2023 ja liikenne (50/50) on vakiintunut, on syytä testata myös 75/25- tai 66/34-liikenteen toimivuutta. Jos nämä liikenteet osoittautuisivat mahdollisiksi metron toimivuuden kannalta, voisi koko liikennettä tai mahdollisesti vain ruuhkaliikennettä liikennöidä 75/25- tai 66/34-mallilla noin 2020-luvun puolivälistä eteenpäin.

---

*75 % tai 66 % metrojunista Kivenlahteen mahdollistaa kapasiteetin kasvattamisen Tapiolan länsipuolella häiriösietoisuuden kustannuksella.*

---

## Bussien lisätarjonta

Metro on olennainen osa pääkaupunkiseudun liikennejärjestelmää. Varsinaista korvaavaa vaihtoehtoa metrolle ei ole, mutta lisäämällä liityntäliikennettä voidaan metron ruuhkaheippujen ylikuormaa tasoittaa. Metrolinjojen suuntaisten bussilinjojen lisääminen Espoosta Helsinkiin tai Itä-Helsingistä Helsingin keskustaan ei ole käytännössä mahdollista, koska Helsingin keskustan maankäyttöä ei haluta varata bussiliikenteelle ja bussien terminaalikapasiteetti Helsingin keskustassa on lähitulevaisuudessa vähenemässä.

Metroluonteen pahimmat kapasiteettiongelmat tulevat ennusteiden mukaan olemaan Urheilupuiston kohdalla Tapiolan länsipuolella. Liityntäliikenne Tapiolaan ja/tai Keilaniemeen, jonne kaikki metrolinjat kulkevat, voisi jonkin verran purkaa Tapiolan länsipuolen kuormitusta. Edellytyksenä on, että Tapiolan ja/tai Keilaniemen bussiterminaalien yhteydestä pystytään osoittamaan liityntäliikenteen lisäyksen verran lisätilaa busseille.

*Bussien lisätarjonta ei ole ensisijainen tapa lisätä metron kapasiteettia Itä-Helsingissä eikä Espoossa. Myöskään bussiterminaalien kapasiteetit ja katuyhteydet bussiterminaaleihin eivät puolla tällaista ratkaisua.*

### Vaihtoehtojen yhteenveto

Kapasiteettia kasvatettaessa on huomioitava muitakin näkökulmia, erityisesti lisääntyneen matkustajamäärän vaikutus turvallisuuskäytäntöjen kannalta. Jatkosuunnittelussa on selvitettävä, millaisia muutoksia vuorovälin tihentäminen tai kapasiteetin kasvattaminen muuta kautta vaatii metron pelastussuunnitelmiin.

*Taulukko 3 Työssä tutkittujen toimenpidevaihtoehtojen yhteenveto. Sinisellä merkityt on arvioitu lupaavimmiksi, valkoisella merkityt saattavat tulla vasta kyseeseen, jos siniset eivät riitä. Punaisella esitettyjä ei suositella.*

Tutkittu vaihtoehto	Alustavan selvityksen tulos	Kapasiteetin kasvu	Jatkoselvittävää?
Nykyjärjestelmän kehittäminen	Ei todennäköisesti tarjoa riittävästi kapasiteettihyötyjä työmäärään ja kustannuksiin nähden.	?	Kyllä
Liikenteenohjausjärjestelmän uusiminen puoliautomaattijoon (GoA 2)	Mahdollistaa vuorovälin supistamisen.	33–66 %	Kyllä
Liikenteenohjausjärjestelmän uusiminen täysautomaattijoon (GoA 4)	Mahdollistaa vuorovälin supistamisen ja parantaa häiriösietoisuutta mutta vaatii laituriovet ja vanhempien junien poiston.	33–66 %	Kyllä
Junan kiihtyvyyttä/jarrutus	Ei voida kasvattaa kapasiteetin nostamiseksi.		Ei
Pysähtymisaika asemalla	Pysähtymisaikoja voi hieman supistaa avaamalla junien eteistiloja ja ohjeistamalla junaan ja junasta ulos kulkemista.	Ehkä 0–10 %	Kyllä
Laturien tai junien pidennykset	Ei käytännössä voida pidentää.		Ei
Sammalvuoren varikon eritasoinen liityntä	Rakennettava, jos kaikki junat tai 75 % junista ajetaan Kivenlahteen.	50–100 % Tapiolasta länteen	Kyllä
Kivenlahden kääntöraiteiden kehitys tai Saunalahden haara	Rakennettava, jos kaikki junat tai 75 % junista ajetaan Kivenlahteen	50–100 % Tapiolasta länteen	Kyllä
Itäkeskuksen alennetun nopeusrajoituksen poisto	Liikenteenohjausjärjestelmän uusimisen yhteydessä nopeusrajoitusta voi mahdollisesti nostaa.	Ehkä 0–10 %	Jos CBTC
Ovien lisääminen tai levenyttäminen	Aiheuttaa enemmän ongelmia kuin ratkaisuja.		Ei
Metrojunien kapasiteetin kasvattaminen	Istuimia poistamalla voidaan kasvattaa metron kapasiteettia, jos palvelutasovaatimukset sallivat.	0-33 %	Kyllä
Kuljettajien määrän lisääminen	Voi mahdollistaa kääntöaikojen supistamisen ja vähentää häiriöherkkyyttä.	Ehkä 0–10 %	Kyllä
Automaattiajo varikolla ja kääntöraiteilla	Voi mahdollistaa nopeat käännöt Kivenlahdessa ilman kääntösilmukkaa ja nopeuttaa varikkotoimintoja.	50–100 % Tapiolasta länteen	Jos CBTC
Liikennöinti: metrojunista 66–75 % Kivenlahteen	Mahdollistaa kapasiteetin kasvattamisen Tapiolan länsipuolella häiriösietoisuuden kustannuksella.	33–50 % Tapiolasta länteen	Kyllä
Bussien lisätarjonta	Ei ratkaise metron kapasiteettiongelmia.		Ei

## 5. Suosituksia

### 5.1 Tavoitteet

Pääkaupunkiseudun metro muodostaa keskeisen osan joukkoliikennejärjestelmää. Matkustajien näkökulmasta voidaan asettaa seuraavat tavoitteet:

- Metron kapasiteetti on riittävä. Tällöin asemalle ei tarvitse jäädä liian täyden metrojunan takia, liikennöintinopeus pysähtymisajat mukaan lukien säilyy riittävällä tasolla eikä matkustusmukavuus kärsi kohtuuttomasti täysien metrojunien takia.
- Liikennöinnissä on mahdollisimman vähän häiriöitä. Metron häiriöt aiheuttavat pahimmillaan matkustajalle hyvin suuria vaikeuksia korvaavien yhteyksien puuttuessa.
- Häiriötilanteista aiheutuu matkustajille mahdollisimman vähän haittaa. Häiriöiden sattuessa on matkustajille pystyttävä kertomaan häiriön kesto, korvaavat yhteydet ja häiriön syy.

Edellä esitetyt tavoitteet eivät täyty vuonna 2030, jos kehittämistoimenpiteisiin ei ryhdytä. Asiaa on havainnollistettu taulukossa 4. Useilla toimenpiteillä on myös liikennöinnin turvallisuutta parantavia vaikutuksia, vaikka tässä työssä ei turvallisuuden parantaminen ole ollut mukana.

*Taulukko 4 Pääkaupunkiseudulla tulee olla luotettava riittävän kapasiteetin metrojärjestelmä.*

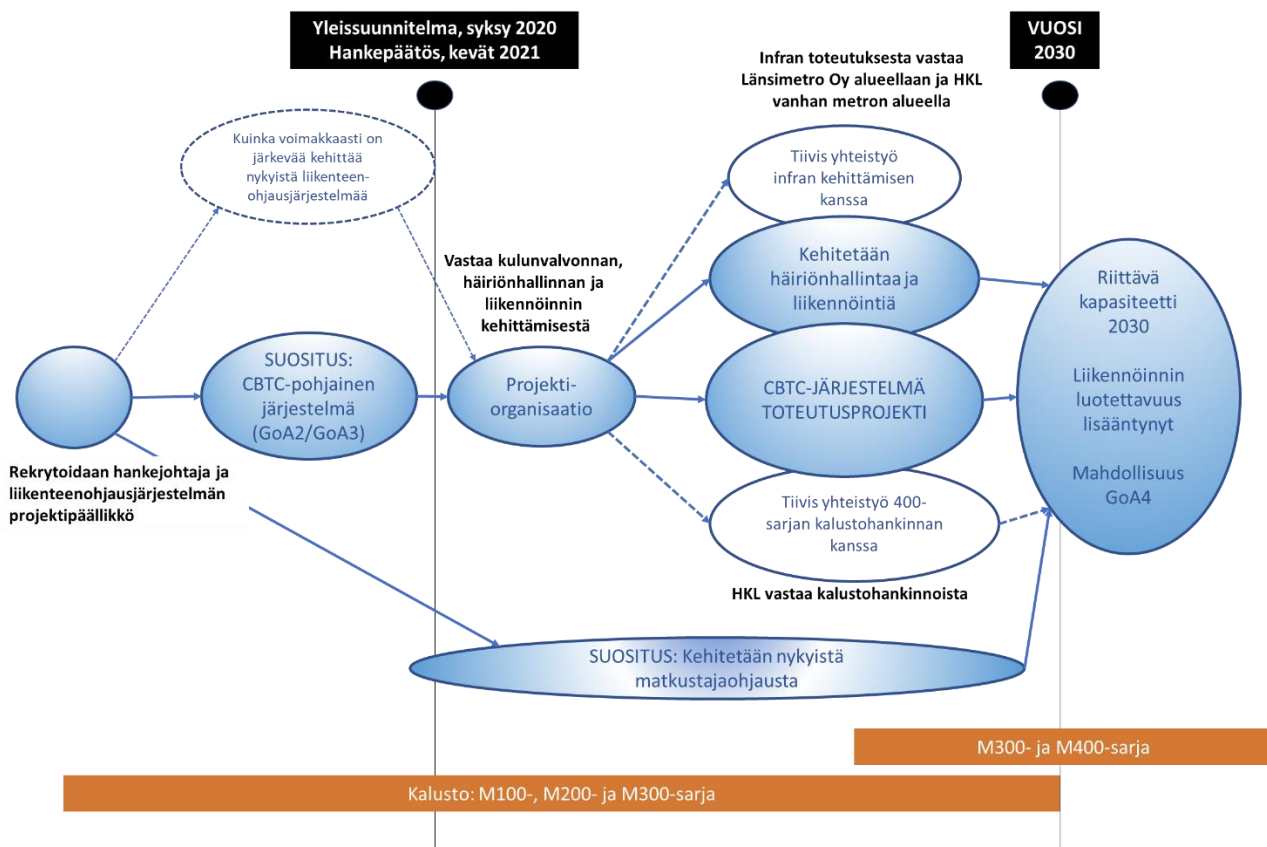
	Kalusto	Infran pullonkaulat	Kulunvalvonta	Automaattisuus	Laituriövet
<b>Riittävän kapasiteetin erittäin luotettava metrojärjestelmä 2030</b>	300- & 400-sarjaista	Ei pullonkauloja	ATC/CBTC	Täysautomaatti	Tarvitaan hyvin todennäköisesti
<b>Riittävän kapasiteetin luotettava metrojärjestelmä 2030</b>	300- & 400-sarjaista	Ei pullonkauloja	ATC/CBTC	Puoliautomaatti	Ei tarvitse, voi olla
<b>Kapasiteettiaan ja luotettavuudeltaan riittämätön metrojärjestelmä 2030</b>	100-, 200-, 300- ja 400-sarja.	Pullonkauloja: Sammalvuori, Kivenlahden kääntö	Pakkopysäytysjärjestelmä	Ei mahdollinen	Ei mahdolliset

## 5.2 Etenemispolku

Kapasiteetin nostamiseksi ja samalla liikennöinnin luotettavuuden parantamiseksi on tunnistettu parhaaksi toimenpiteeksi siirtyminen jatkuvaan kulunvalvontaan (CBTC-järjestelmään). Lisäksi on tunnistettu seuraavia potentiaalisia varsin edullisia toimenpiteitä, joita on syytä tarkastella tarkemmin:

- Piilokapasiteetti käyttöön (junien täyttöaste tiedoksi matkustajille)
- Junaan ja junasta ulos kulkemisen tehostaminen ohjaustoimenpiteillä (merkitään ulostulokohdat ja sisäänmenon odotusalueet laitureille)
- Istumapaikkajärjestyksen muuttaminen. HSL on käynnistänyt syksyn 2019 aikana selvityksen ”Metron asiakaskokemus kapasiteetin osalta palvelumuotoilun keinoin”. Työn tulokset eivät olleet valmiit tätä raporttia kirjoitettaessa.

Seuraavassa kuvassa on esitetty suositus etenemispolkuksi liikennöinnin kapasiteetin riittävyyden varmistamiseksi ja liikennöinnin luotettavuuden parantamiseksi.



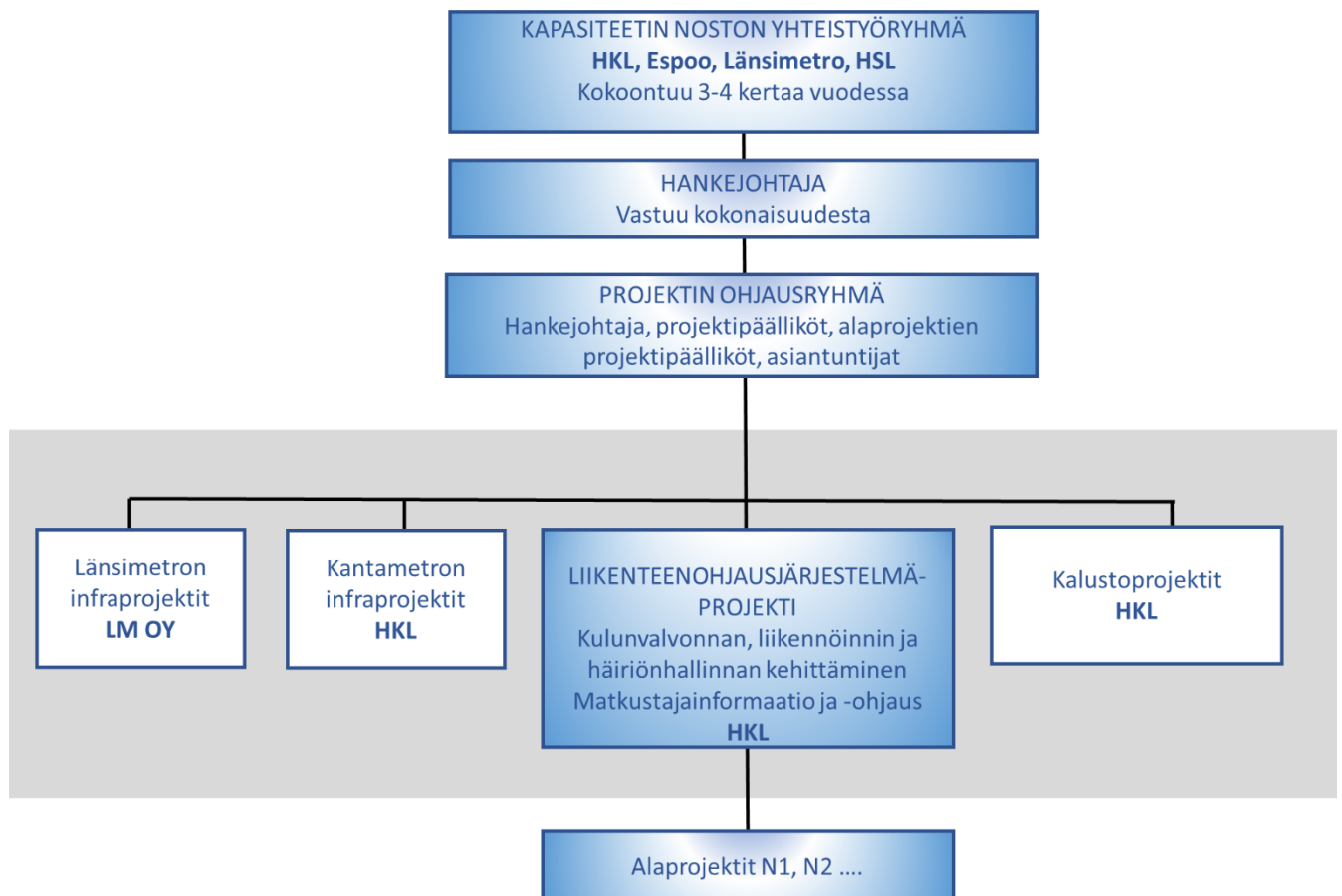
Kuva 8. Kapasiteetin lisäämisen ja liikennöinnin luotettavuuden parantamisen etenemispolku.

### 5.3 Organisointi, osaamisen varmistaminen

Kapasiteetin nosto ja liikennöinnin luotettavuuden parantaminen edellyttävät monen organisaation yhteistyötä: HKL, Länsimetro Oy, Espoo, Helsinki ja HSL ja se sisältää eri tahojen vastuulla olevia toimenpiteitä. Lähtökohtana on selvityksen mukaisesti kapasiteetin nosto. Tähän on luontevaa yhdistää liikennöinnin luotettavuuden lisääminen.

Koska päätöksenteko jakaantuu usealle taholle, on kapasiteetin nostolle ja liikennöinnin luotettavuudelle asetettava korkean tason yhteistyöryhmä, jonka jäseninä ovat hankkeen toteutuksen esittelijät poliittisille päättäjille. Yhteistyöryhmän toiminta on erittäin keskeisessä roolissa, koska siellä ovat rahoituksesta vastaavat tahot ja eri tahoilla on helposti erilaisia intressejä. Yhteistyöryhmän keskeinen tehtävä on määrittellä kapasiteetin noston ja liikennöinnin luotettavuuden tavoitteet ja resurssit sekä kapasiteetin noston hankejohtajan ja liikenteenohjausjärjestelmäprojektin projektipäällikön tehtävät, vastuut ja valtuudet.

Kapasiteetin noston kokonaisuudesta vastaa hankejohtaja. Kapasiteetin noston keskeinen toimenpide on liikenteenohjausjärjestelmän kehittäminen. Tällä on paljon yhtymäkohtia infran rakentamisen ja kaluston kehittämisen kanssa. Yhteistyö näiden välillä on erittäin tärkeää. Vastuu kokonaisuuden toiminnallisuudesta on hankejohtajalla.



Kuva 9. Kapasiteetin nostaminen ja luotettavuuden parantaminen käsittävät useita projekteja.

## Liikenteenohjausjärjestelmäprojekti (sis. liikennöinnin kehittämisen ja matkustajaohjaus)

Liikenteenohjausjärjestelmän kehittämiseksi on luotava erillinen projektiorganisaatio suunnittelua ja toteutusta varten. Luonteva omistaja projektille on HKL. Vastuiden kannalta on syytä tarkastella erityisesti liikenteenohjausjärjestelmän osajärjestelmien omistajuutta (kulunvalvonta ja junalaitteet, asetinlaitteet, ratalaitteet, valvomajärjestelmät, jne.). Esimerkiksi kantametron asetinlaitteet omistaa HKL ja Länsimetron asetinlaitteet Länsi-metro Oy. Vastuiden kannalta saattaa olla parempi, että omistajuus järjestetään yhdelle organisaatiolle. Uuden järjestelmän kehittämisen lisäksi organisaatio on vastuussa nykyisen järjestelmän parantamistoimenpiteistä.

Liikenteenohjausjärjestelmäprojektilla tulee olla riittävät ja täysipäiväisesti projektille osoitetut avainhenkilöt. Käynnistysvaiheessa esitetään 5 henkilön projektiorganisaatiota:

- Projektipäällikkö
- CBTC-järjestelmän tunteva asiantuntija
- Asiantuntija, joka tuntee nykyisen järjestelmän riittävän hyvin
- Turvallisuusasiantuntija
- Liikennöinnin mallintamisen asiantuntija

Henkilöiden rekrytoinneissa on kiinnitettävä huomiota siihen, etsitäänkö asiantuntija ulkomailta alan syväosaajana, vai Suomesta jonkin läheisen alan toimijana, joka tuntee kielen ja toimintaympäristön paremmin. Edellä mainittujen asiantuntijoiden alaisuudessa voi olla konsultteja yms. Jatkoselvitettävänä asiana esitetään liikenteenohjausjärjestelmäprojektin organisaation tehtävien ja vastuiden määrittämistä. Lisäksi on sovittava hankkeen rahoituksesta suunnittelun, toteutuksen ja käytön osalta.

Myöhemmässä vaiheessa uuden CBTC-liikenteenohjausjärjestelmän palveluntuottaja tulee olemaan erittäin merkittävässä roolissa järjestelmän toteuttamisessa. Tilaajan on suositeltavaa olla kuitenkin se taho, jolla on lopullinen päätäntävalta. Myös kokonaisuuden hallinta ja tietyt hyväksynyt tulee olla tilaajan omissa käsissä. Lisäksi koordinointi muun HKL:n toiminnan ja muiden projektien kanssa on tärkeää. Kokonaisuudessaan CBTC-järjestelmien projektiorganisaatiot ovat kasvaneet 40-50 henkilöön käsittäen sekä tilaajan että palveluntuottajan henkilököitä. Projektinjohto ja vastuullisten henkilöiden joukko on kuitenkin syytä pitää riittävän pienenä, jotta päästään nopeaan päätöksentekoon. Lisäksi, jos etukäteen tehdään tarpeeksi selvitystyötä, voidaan välttää suuri osa epäselvyyksistä tilaajan ja palveluntuottajan välillä. Tarvittava henkilöstöpanos tilaajan puolella riippuu muun muassa palveluntuottajan ja tilaajan työnjaosta ja valittavasta toiminta- ja sopimusmal-lista.

## 5.4 Infran kehittäminen

Keväällä 2019 laadittiin selvitys Matinkylän kääntöraiteesta (Selvitys Matinkylän kääntöraiteesta, Ruohonen ja Bäckström 23.4.2019). Selvityksessä todetaan, että Länsimetron raiteistojen suunnittelu on tehty kuljettajametrolle. Yhteys Sammalvuoren varikolle on vain Kivenlahden suunnasta ja ylittää tasossa pohjoisen raiteen ja on sitä ongelmallisempi, mitä lyhyempi on metroluokituksen vuoroväli. Tämä aiheuttaa selkeän riskin vuorovälin tihentämiselle, koska Sammalvuoren varikkoyhteys ei toimi alle 135 s vuorovälillä. Jotta varmistetaan se, että tiheällä vuorovälillä voidaan liikennöidä 100 % junista Kivenlahteen 100-120 sekunnin vuorovälillä, suositellaan Sammalvuoren varikolle toteutettavaksi eritasoratkaisu eteläraiteelle Kivenlahdesta. Lisäksi suositellaan varmistettavaksi Kivenlahden kääntöraiteiden toimivuus tai Saunalahden haaraan väliaikaisen kääntöyhteyden toteuttaminen. Seuraavassa kuvassa on esitetty Matinkylän kääntöraideselvityksen suositus etenemispoluksi infratoimenpiteiden osalta.

### ETENEMISPOLKU

1. Käynnistetään välittömästi Sammalvuoren varikon varauksen suunnittelu ja toteutus jo LM2:n aikana. Lisäksi käynnistetään itse varikkoyhteyden suunnittelu. Varikkoyhteys suositellaan toteutettavaksi vuoteen 2025 mennessä. **Neuvottelut varikkoyhteyden suunnittelun ja toteutuksen kustannusjaosta ja valtionavustuksesta on käynnistettävä samalla.**
2. Käynnistetään välittömästi suunnittelu kääntöraiteistojen kehittämisestä metrolinjaston länsipäässä vastaamaan automaattimetron tarpeita. Vaihtoehtoina ovat esimerkiksi Kivenlahden kääntöraiteiden kehittäminen tai Saunalahden haara ja sen väliaikainen kääntöyhteys. Lopullisesta ratkaisusta on tehtävä päätös mahdollisimman nopeasti, jotta ei toisteta Matinkylän kääntöraiteen ongelmaa, jossa päätös toteutuksesta olisi pitänyt tehdä riittävän aikaisessa vaiheessa.
3. Matinkylä-Kivenlahti matkustajaliikenteen käyttöön 2023
  - Tällöin liikennöidään 50 % Tapiolaan, 50 % Kivenlahteen
  - Samalla testataan 75/25- tai 66/34-liikenteiden toimivuutta
  - Jos 75/25- tai 66/34-liikenteet osoittautuisivat mahdollisiksi metron toimivuuden kannalta, voisi (koko liikenteen tai ruuhkaliikenteen) mahdollisesti liikennöidä 75/25- tai 66/34-liikennettä noin 2020-luvun puolivälistä
  - Laaditaan varasuunnitelmat täydentävästä bussiliikenteestä, jos 75/25- tai 66/34-liikenteet osoittautuvat liian häiriöherkiksi
  - HSL:n liikennöintikustannusten jakoperiaatteiden mukaan Helsinki maksaa valtaosan ylikapasiteetista välillä Matinkylä-Kivenlahti. Tosin tällä helpotetaan samalla muun metron ruuhkia, mutta kalliimmin kuin Matinkylän käännöllä. **Kustannusjako tämän osalta on sovittava**, koska Helsinki maksaa ylikapasiteetista noin 70 % ja Espoo 25 %.
4. Vuoteen 2025 mennessä otetaan käyttöön M300-sarjan metrokaluston optiot, joilla mahdollistetaan 75/25 liikenteen toimivuus. Häiriöiden minimoiseksi on erittäin suositeltavaa, että myös kohdat 1 (Sammalvuoren varikon toinen yhteys) ja 2 (Saunalahden haaran kääntö) ovat toteutettut.
5. Automatisoinnin arvioidaan toteutuvan noin 2029. Tällöin on kohtien 1 ja 2 oltava viimeistään toteutettu.
6. Tilataan M400-kalustoa liikennöintiratkaisun edellyttämä määrä.

*Kuva 10. Matinkylän kääntöraideselvityksessä päädyttiin esittämään kuusivaiheista etenemispolkua (Selvitys Matinkylän kääntöraiteesta, Ruohonen ja Bäckström 23.4.2019).*

Kantametron osalta erittäin tärkeä infratoimenpide on Kruunusiltaojen raitiotien toteuttaminen. Tämä vähentää merkittävästi kuormitusta metron kuormittuneimmalta osuudelta Kulosaaren sillan kohdalla.

## 5.5 Kulunvalvonnan kehittäminen

### VAIHE 1: Nykyjärjestelmän kehittäminen

Nykyisten liikenteenohjausjärjestelmien kehityspotentiaali niin kapasiteetin lisäämisen, häiriöherkkyyden ja turvallisuuden parantamisen kannalta on syytä selvittää. Toimenpiteiden vaikutukset, kustannukset, aikataulutus ja hyödyntämismahdollisuus siirryttäessä CBTC-järjestelmään tulee selvittää. Mahdollisia toimenpiteitä ovat ainakin seuraavat:

- **Nykyasetinlaitteen toiminnan optimoinnit:** Ohiajovarojen purkuaikojen optimointi, nopeusrajoituksen nosto käännoillä lisäämällä turvalaitteita, vaihteiden aikataulun mukaiset ennakkokäännöt, ohiajovaran purkaminen nopeutetusti yksikön pysähtymisen varmistamisen jälkeen kriittisissä paikoissa.
- **ATS-järjestelmän edelleen kehittäminen:** Dynaaminen aikataulutus, aikataulun optimointi, häiriötilanteiden hallinnan kehittäminen automaation keinoin.
- **Optimaalinen ajotapa käyttöön:** Kuljettajan ohjeistaminen huomioimaan todellinen liikennetilanne – DAS-integraatio ATS ja asetinlaite.
- **Suojavälien lyhentäminen:** suojavälien lisääminen ilman fyysisiä opastimia, esiopastimien tarpeen tarkastelu, asetinlaitteen uudet toiminnot ja jatkuva yhteys junaan.

Nykyisen liikenteenohjausjärjestelmän kehittämis- ja hyödyntämispotentiaali ja kustannukset on tarpeen selvittää asiantuntijoiden toimesta. Lisäksi kannattaa selvittää nykyisten ja suunnitteilla olevien tietoliikenneverkkojen hyödynnettävyys uudessa järjestelmässä, mahdollisuudet vähentää rajapintoja nykyisten järjestelmien ja uuden järjestelmän välillä, koska rajapintojen luominen tuottaa aina mahdollisia lisäongelmia. Myös nykyisen pakkopysäytysjärjestelmän kehittämistarpeet- ja toimenpiteet kannattaa sisällyttää selvitystyöhön.

Lisäksi on huomioitava karkeana nyrkkisääntönä, että mitä enemmän vanhan metrojärjestelmän osia säilytetään, sitä suurempi riski on ennakoimattomille ongelmille, jotka vaikuttavat projektin budjettiin ja aikatauluun.

### VAIHE 2: CBTC-järjestelmän toteuttaminen vuoteen 2030

CBTC-järjestelmän suurimmat hyödyt saavutetaan, kun metrojen ohjauksessa siirrytään täysin manuaalisesti ajettavista junista puoliautomaattisiin eli GoA1-tasolta tasoille GoA2 (tai GoA3). Tason 2 puoliautomaattisuudella (juna ajaa itse asemavälit, kuljettaja hoitaa asematoiminnot ja häiriötilanteet) metrojärjestelmässä voidaan saavuttaa alle 120 s vuoroväli.

Automaattisuus vaatii CBTC-järjestelmän lisäksi automaattisen junien ohjausjärjestelmän (ATC). Tämä mahdollistaa jatkossa siirtymisen täysautomaattisen järjestelmään. CBTC on ylivoimaisesti eniten käytetty järjestelmä, kun vanhoja kulunvalvontajärjestelmiä on uudistettu vuorovälin tihentämiseksi ja/tai automaattimetrojärjestelmän toteuttamiseksi.

CBTC -järjestelmiä toteuttaa useampi palveluntuottaja ja tekniikka on laajasti käytössä.



### VAIHE 3: Täysautomaatti vuoden 2030 jälkeen

Täysautomaattipäivitys voidaan tehdä myöhemmin puoliautomaattisen järjestelmän jälkeen. Täysautomaattiohjaus rakentuu samantyyppisten osajärjestelmien päälle kuin puoliautomaattiohjaus, ja puoliautomaattijärjestelmän asentamisen ohessa voidaan varautua täysautomaattiohjaukseen.

Pääkaupunkiseudulla hyvä peruste vaiheittaiselle siirtymälle täysautomaattiseen liikenteeseen on M100- ja M200-sarjan junat. Junien päivittäminen täysin automaattiseen ajoon on kertaalleen osoittautunut vaikeaksi. Täysautomaattiliikenne tiheällä vuorovälillä saattaa vaatia junien poistamista liikenteestä ennenaikaisesti. Pääkaupunkiseudun metron päivittäminen täysautomaattiajoon voisi olla luontevaa M100- ja M200-sarjan junien poistuessa käytöstä noin vuonna 2035, jolloin M300- ja M400-junilla on mahdollista liikennöidä täysin automaattisesti.

Liikenteen täysautomaatisointi M100- ja M200-junien eläköitymisen jälkeen on myös sikäli luontevaa, että täysautomaattimetron laituriovien oviaukot voidaan rakentaa kapeammiksi. Nykyisen junakaluston oviaukot eivät ole täsmälleen samoilla kohdilla, minkä takia M100- ja M200-sarjalle yhteensopivat laituriovet pitää rakentaa leveämmin oviaukoin.

On kuitenkin syytä tiedostaa, että maailmalla on ennen tavoiteltu täysautomaatisaatiota tavoitteena vähentää henkilöstöä ja yleisen modernisaation nimissä. Tällä hetkellä suunta on kääntymässä siihen, että henkilöstön vähentämisen sijaan tavoitellaan suurempaa määrää asiakkaiden kohtaamisia, sillä tavoitteena on usein ylläpitää hyvää asiakastytyväisyyttä.

## 5.6 Liikennöinnin mallintaminen

Työn aikana on noussut esille tarve tutkia erilaisten kehittämistoimenpiteiden vaikutuksia metron liikennöintiin. Tämä edellyttää sekä matkustajakysynnän että järjestelmän toiminnan mallintamista.

Liikennöintimallilla tavoitellaan ainakin seuraavia hyötyjä:

- Pystytään kehittämään toimivimpia liikennöintimalleja.
- Pystytään testaamaan maankäytön ja liikennejärjestelmän muutosten vaikutuksia nykyiseen liikennöintimalliin ja suunniteltuihin uusiin malleihin.
- Pystytään testaamaan erilaisten infraratkaisujen vaikutuksia (esimerkiksi kääntöraiteiden ja varikon toimintamalleja).
- Pystytään testaamaan toimivuus erilaisissa häiriötilanteissa ja liikennetilanteissa (aamu, päivä, ilta, yö).
- Pystytään testaamaan erilaisten kulunvalvontaratkaisujen vaikutuksia nykytilanteeseen ja pidemmälle tulevaisuuteen (esimerkiksi miten arkiliikenne sujuu kuuden vuoden päästä testattavilla ratkaisuilla).
- Pystytään testaamaan yhden päivän liikennöinti "Day in a life". Testin avulla seurataan mitä suunnitellun päivän aikana tapahtuu (junat varikolla, otetaan käyttöön ensimmäinen juna, liikennöidään, tulee mahdollisesti ongelmia, miten reagoidaan ongelmatilanteisiin, tuodaan junat takaisin varikolle).

## 5.7 Kalusto

On tärkeää, että liikenteenohjausjärjestelmäprojekti tekee tiiviistä yhteistyötä niin nykyisestä kalustosta vastaavien kanssa kuin M400-kaluston hankinnasta vastaavien kanssa. On selkeästi sovittava se, mistä liikenteenohjausjärjestelmän palveluntuottaja vastaa ja mistä kalustotoimittaja.

Seuraavia selvityksiä on tunnistettu tehtäväksi liikenteenohjausjärjestelmäprojektille kaluston osalta:

- Tarvitaan selvitys siitä, millä edellytyksillä nykyinen M100- ja M200-sarjan kalusto olisi käytettävissä CBTC-ympäristössä, eli millä edellytyksillä niiden käyttö sekaliikenteessä M300- ja M400-sarjan kanssa on mahdollista. Lisäksi on syytä harkita, saatetaanko metrojunien yksilölliset ominaisuudet identtisiksi mahdollisesti vuosien varrella tehtyjen poikkeavien huoltotoimenpiteiden jälkeen, mikä helpottaisi junien varustamista uusilla laitteilla.
- M400-sarjan hankinnan ja CBTC-järjestelmän hankinnan vaiheistus on suunniteltava.
- Tarvitaan selvitys siitä, mitä dokumentaatiota on olemassa ja saatavissa M100–300 sarjojen kalustosta ja onko tämä dokumentaatio riittävä liikenteenohjausjärjestelmäprojektin tarpeisiin.

Hankkimalla kalusto ja liikenteenohjausjärjestelmä samalta toimittajalta yhdellä kilpailutuksella, pystytään vähentämään hieman riskejä. Rajapinnat kaluston ja liikenteenohjausjärjestelmän välillä sisältävät aina riskejä ja teknisiä haasteita, mutta ne ovat kuitenkin hallittavissa, koska näiden rajapintojen kanssa nykyiset kalusto- ja liikenteenohjausjärjestelmien toimittajat työskentelevät koko ajan.

Suositus on hankkia järjestelmät erillisinä, koska yhteishankinnassa kalusto-CBTC-projekti voi keskittyä liikaa kalustoon, jonka painoarvo on taloudellisesti suurempi. Lisäksi toimittajien määrä on pienempi, jos tehdään yhteishankinta eikä tällöin ole varmuutta siitä, että saadaan paras mahdollinen kalusto ja liikenteenohjausjärjestelmä. Suurin haaste ei myöskään ole uuden kaluston ja liikenteenohjausjärjestelmän yhteensovittamisessa, vaan uuden liikenteenohjausjärjestelmän yhteensovittamisessa nykyiseen kalustoon ja toimintaympäristöön.

## 5.8 CBTC-järjestelmän hankintamallista

Ulkomaisten kokemusten ja käytyjen markkinakuulemisten perusteella hankintamalliksi suositellaan harkittavaksi enemmän yhteistyömallityypistä (esimerkiksi allianssia) ratkaisua kuin täysin perinteistä tilaaja-tuottajamallia. Koska kyseessä on laajan tietoteknisen järjestelmän hankinta, on osa kustannuksista todennäköisesti kiinteitä kustannuksia (esimerkiksi lisenssimaksuja), joiden hankinnasta voi kuitenkin vastata kokonaisuudessaan tilaaja.

Yhteistyömallin etuja ovat muun muassa:

- Soveltuu hyvin hankkeisiin, joihin sisältyy haasteellisia teknisiä ratkaisuja ja riskejä, joita ei täysin ennakolta tunneta ja joiden hallinnassa kaikkien eri osapuolten panos on välttämätön.
- Osapuolilla (tilaaja, palveluntoimittaja) on yhteiset tavoitteet. Lisäksi osapuolet saadaan aitoon yhteistyöhön. On täysin varmaa, että toteutuksen aikana joudutaan tekemään muutoksia. Tällöin ratkaisuihin etsitään yhdessä parasta vaihtoehtoa.

- Yhteistyömalleissa on useimmiten alussa kehitysvaihe, jossa tehdään yhdessä määritykset ja määritetään tavoitehinta. Vasta kehitysvaiheen jälkeen päätetään hankkeen toteuttamisesta. Tavoitehinta sitoo samalla myös kaikkia osapuolia. Lisäksi on sovittu kustannusten alitusten ja ylitysten jaosta. Tiedossa ei ole, että metrojen kulunvalvonta- ja automaatiohankkeissa kehitysvaiheiden jälkeen allianssi olisi purettu. Kehitysvaiheen tuotokset on mahdollista määritellä tilaajaan omaisuudeksi ja hyödynnettäväksi, vaikka allianssi purettaisiinkin kehitysvaiheen jälkeen.
- Maksetaan vain todelliset kustannukset ja palkitaan hyvästä tekemisestä. Lisäksi sopimukset on laadittava taidolla ja varmistettava tilaajan tavoitteiden mukaiset toiminnalliset palkitsemismallit.

Perinteiset avaimet käteen –toimitukset eivät ole juurikaan onnistuneet. Haasteena on se että, että raskaiden ja tiukkojen sopimusten tekeminen ei tahdo toimia brown field -projekteissa. ”*In brown field there is never total turn key -> there are many keys*”. Perinteisessä mallissa erityisesti muutokset ovat olleet vaikeita saada aikaiseksi. Markkinavuoropuheluissa saatiin lukuisia suosituksia huomioitavaksi hankintaprosessissa. Koska palveluntoimittajilla on enemmän kokemusta perinteisistä hankintamalleista, niin suositukset sopivatkin paremmin perinteiseen hankintamalliin, mutta osa myös yhteistyömalliin:

- Päätöksentekoprosessien ja vastuiden on oltava selkeät (kuka omistaa päätökset). Usein ongelmana ovat myös liian myöhään tulevat päätökset. Päätöksentekoprosessin epämääräisyys ja hitaus vaikuttaisivatkin olevan ainakin osasyynä monien hankkeiden ongelmiin. Suosituksena on, että riskin kantaa se, joka on siihen paras osaja (=osaa parhaiten hallita riskin).
- Toimituksen hyväksymisvaiheet ja -prosessit on määriteltävä huolella.
- Jos kulunvalvontajärjestelmässä on monen eri palveluntuottajan järjestelmiä, on silloin myös monta rajapintaa eri toimijoiden kesken. Palveluntuottajat helposti syyttelevät toisiaan, eivätkä ota vastuuta tekemisistään. Sopimusteitse on pystyttävä varmistamaan vastuut. Selkeintä on, jos yhdellä palveluntuottajalla on selkeästi kokonaisvastuu koko järjestelmästä, vaikka mukana olisi myös muiden toimitamia osajärjestelmiä.
- Palveluntuottajien kanssa on syytä keskustella myös hankinnan valmistelun aikana, koska tilaajalla ei ole parasta ja viimeisintä tietoa järjestelmien ominaisuuksista. Näin varmistetaan tilaajan tarpeiden mukaantulo oikealla tavalla. Kokemukset aiemmista CBTC-järjestelmistä ovat arvokkaita.
- Jos halutaan siirtyä vaiheittain ensin GoA2:een ja myöhemmin GoA4:ään, on varsinaiseen sopimukseen hyvä tehdä optio tästä. Optioaika voi olla pitkä. Tällöin on pystyttävä arvioimaan eri hankintamallien vahvuudet ja heikkoudet pitkään optioaikaan liittyen.
- Haastavaa on määritellä spesifikaation taso suhteessa riskeihin. On varmistuttava, että ei tehdä ylispesifikaatiota. Suosituksena on, että tilaaja keskittyy toiminnallisiin vaatimuksiin (täsmällisyys, turvallisuus, kapasiteetti jne.). Koska palveluntuottajilla on paras tekninen osaaminen ja huomattavat resurssit, on tarkat tekniset määritykset parempi jättää heille. Tarkat tekniset vaatimukset ovat hyviä, vain, jos ne ovat todella hyviä. Hyvät ja tarkat tekniset määritykset vaativat erittäin paljon resursseja.
- HKL:n on tarjottava palveluntuottajalle tilat tehdä asennukset jne. Testirata prototyypeille on suositeltava. Toiminnallisuuden testaamiseen tarvitaan 500–600 metrin rata.

- Kulunvalvontajärjestelmän elinkaari on noin 30 vuotta. Järjestelmän laajentaminen ja muutokset on oltava mukana sopimuksessa. Joustavuus on näiden osalta tärkeää. 30 vuodessa tapahtuu paljon muutoksia ja tulee myös esimerkiksi uusia junia. On huomioitava, että kun järjestelmä otetaan käyttöön 2030, niin se on toiminnassa vielä vuonna 2060.
- Jos tilaaja haluaa toimittaa tiettyjä kokonaisuuksia (esimerkiksi wifi, LTE, Mipron asetinlaitteet), niin ne tulee olla hyvin tarkkaan määriteltäviä, etenkin tilaajan vastuiden osalta. Samalla myös hankkeiden väliset vastuut tulee olla selvillä.
- Palveluntuottajan käytössä olevat työaika-erät on oltava selkeästi sovittu. Näillä on erittäin suuri merkitys hankkeen toteutusaikatauluun. Työaika-erä voidaan pidentää esimerkiksi myöntämällä lisätunteja yöllä, katkaisemalla liikenne kokonaan esimerkiksi sunnuntaiksi tai katkaisemalla liikenne kokonaan kesäajaksi.
- Palvelusopimukseen on hyvä kuulua 24/7-ylläpitosopimus koko järjestelmän elinkaaren tarpeet huomioiden. Sisältö riippuu paljon siitä, mitä tehtäviä tilaaja haluaa pitää itsellään.

Palveluntoimittajan kanssa neuvotellessa on suositeltava keskittyä arvioimaan eri tyyppisten ratkaisujen hyviä ja huonoja puolia, eikä vain ratkaisujen mahdollisuutta tai mahdottomuutta.

## 5.9 Riskienhallinta

Riskienhallinta on integroitava kokonaisvaltaisesti kapasiteetin nostamiseen ja liikennöinnin luotettavuuden parantamiseen. Tarkoituksena on saavuttaa riskienhallinnan keinoin järkevä varmuus tavoitteisiin pääsemisestä. Riskejä tulee jatkuvasti seurata ja pyrkiä vähentämään niiden vaikutuksia. Hankejohtaja vastaa riskienhallinnan kokonaisuudesta.

Projektissa riskienhallinta on otettava osaksi projektisuunnitelmaa ja -kokouksia. Potentiaaliset riskit tulee listata ja analysoida niiden todennäköisyydet ja vaikutukset. Riskeille on määritettävä keinot, joilla riskejä kyetään vähentämään tai jopa eliminoimaan. Lisäksi tulee löytää keinot, miten toimia, mikäli jokin riski toteutuu. Parhaimmat asiantuntijat edellisten tekemiseen löytyvät projekteista. Tavoitteena on vähentää projektin epävarmuutta ja saavuttaa projektin tavoite ilman ylimääräisiä, toteutuneista riskeistä tai yllättävistä ongelmista, aiheuttamia kustannuksia.

Taulukossa 5 on esitetty työn aikana havaittuja riskejä, joita on jatkossa syytä analysoida tarkemmin ja määrittellä keinot riskien pienentämiseksi ja hallitsemiseksi.

Taulukko 5. Riskien arviointi ja vaikutukset. Useilla riskeillä on yhtymäkohtia keskenään. Yhden riskin toteutuminen voi johtaa toisen riskin toteutumiseen.

Riski	Vaikutus
Projektiorganisaation tehottomuus: epäselvät valtuudet ja vastuut sekä henkilöiden muut tehtävät tai riittämättömän osaaminen uusista kulunvalvontajärjestelmistä ja sen hankinnasta.	Toiminnallisia tavoitteita ei saavuteta, hanke myöhästyy, kustannukset kasvavat.
Merkittäviä häiriöitä metroliikenteelle toteutusten aikana.	Matkustajatytyväisyys laskee, pahimmillaan menetetään matkustajia henkilöautoliikenteelle.
Tiheävälisen metroliikenteen edellyttämiä infrainvestointeja ei toteuteta.	Uudesta CBTC-järjestelmästä ei saada tavoiteltuja hyötyjä.
Liikenteen operoinnin ja häiriönhallinnan mallintamiseen ei panosteta (mukaan lukien varikkotoiminnot). Riski koskee sekä nykytilannetta että siirtymistä uuteen kulunvalvontajärjestelmään.	Tehdään väärä ratkaisuja, ratkaisuista ei saada parhaita mahdollisia hyötyjä.
CBTC-järjestelmän hankinnassa ei onnistuta luomaan kustannustehokasta yhteistyömallia tilaajan ja toimittajan kanssa.	Toiminnallisia tavoitteita ei saavuteta, hanke myöhästyy ja kustannukset kasvavat. Pahimmillaan johtaa oikeusriitoihin.
Siirryttäessä kohti automaattimetroa, liikenteen hallinta ja operointi eivät muodosta yhtä kokonaisuutta, jolla on yksi kokonaisuudesta vastaava omistaja.	Monen omistajan malli johtaa osaoptimointiin ja voi pahimmillaan estää matkustajien kannalta parhaan ratkaisun.
Kalusto ja CBTC-järjestelmä eivät muodosta toimivaa kokonaisuutta. Riski on suurin siirtymävaiheessa, kun käytössä on pahimmillaan neljä eri metrosarjaa (M100 ...M400).	Uudesta CBTC -järjestelmästä ei saada tavoiteltuja hyötyjä. Pahimmillaan tulee ongelmia myös kalustopuolelle.
Tekniset ratkaisut, mukaan lukien tietoliikenneyhteydet, ovat eri tasoiset Länsimetrossa ja kantametrossa.	Hanke myöhästyy, kustannukset kasvavat.
<b>Laaditaan CBTC-järjestelmälle liian yleispiirteiset tai vastakohtaisesti liian tarkat määrittymiset.</b>	Toiminnallisia tavoitteita ei saavuteta, hanke myöhästyy ja kustannukset kasvavat.
<b>Hankinnan yhteys olemassa oleviin ratalaitteisiin ja niiden elinkaaren hallintaan epäonnistuu.</b>	Toiminnallisia tavoitteita ei saavuteta, hanke myöhästyy ja kustannukset kasvavat.
<b>Vaiheistuksessa epäonnistutaan. Hankitaan kalusto väärään aikaan CBTC-järjestelmään nähden.</b>	Toiminnallisia tavoitteita ei saavuteta, hanke myöhästyy ja kustannukset kasvavat.
<b>Päätös GoA-tasosta tai siihen liittyvästä vaiheittain siirtymisestä GoA2 → GoA4 on väärä.</b>	Toiminnallisia tavoitteita ei saavuteta, hanke myöhästyy ja kustannukset kasvavat.
Pelastus- tai turvallisuusviranomaiset vaativat lisäjärjestelyjä asemilla tai koko metrojärjestelmään.	Pahimmillaan vaaditaan mittavia investointeja.

## 6. Aikataulu ja jatkotoimenpiteet

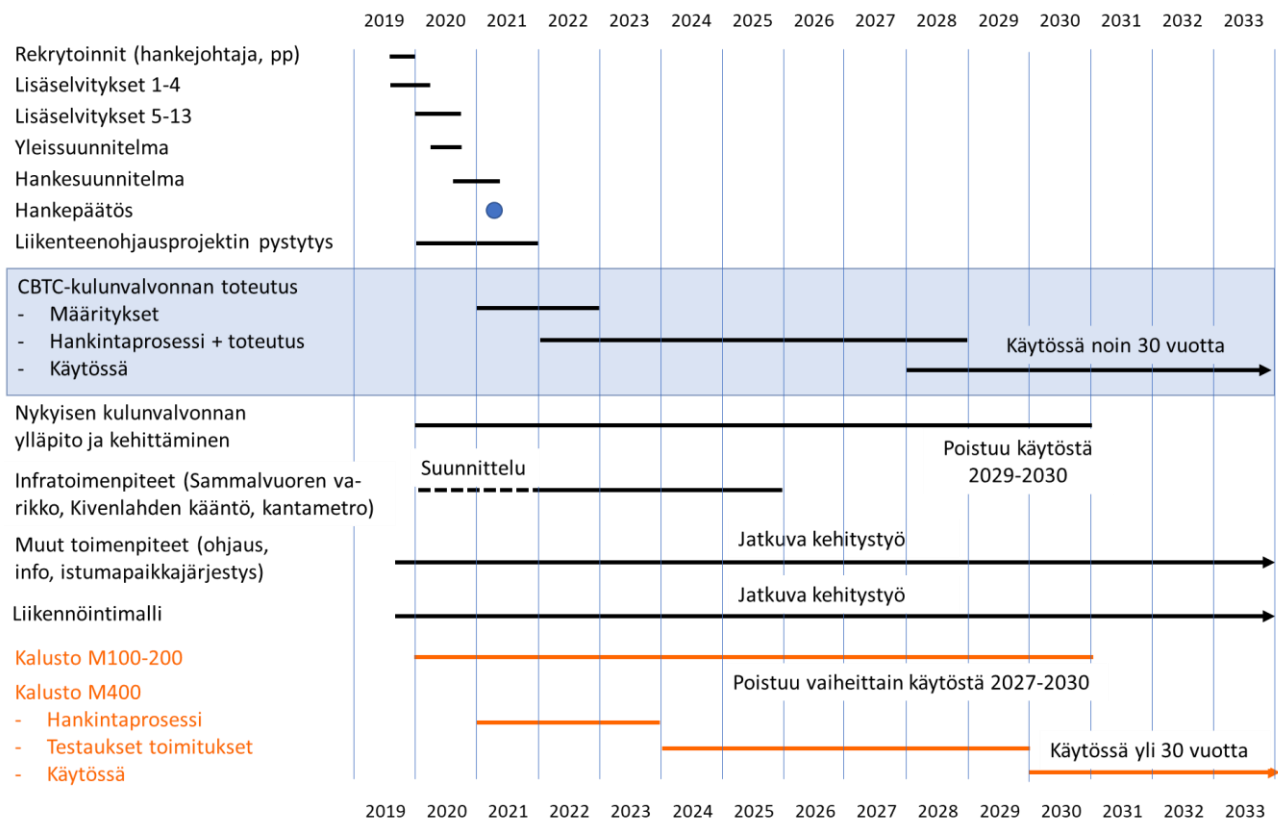
Seuraavat toimenpiteet esitetään välittömästi käynnistettäväksi yhteistyöryhmän toimesta:

- hankejohtajan ja liikenteenohjausjärjestelmän projektipäällikön rekrytointi
- selvitykset 1–4.

Selvitykset 5–13 ja yleissuunnitelma käynnistetään hankejohtajan ja liikenteenohjausjärjestelmän projektipäällikön toimesta. Yleissuunnitelma ei ole yhtä tarkka kuin hankesuunnitelma. Yleissuunnitelmassa määritetään kapasiteetin noston ja liikennöinnin luotettavuuden laadulliset tavoitteet, asetetaan toimenpiteille kattohinta ja laaditan kuvaus hankkeen lopputuloksesta. Yleissuunnitelmalla kuvataan mitä hankkeella savutetaan ja mitä se saa maksaa. Yleissuunnitelma myös kokoaa yhteen selvitysten 1–13 keskeiset tulokset.

Hankesuunnitelma käynnistyy syksyllä 2020 yleissuunnitelman valmistumisen jälkeen. Hankesuunnitelman kestoksi on arvioitu noin puoli vuotta. Hankepäätös on tarkoitus tehdä keväällä 2021.

Seuraavassa kuvassa on esitetty aikataulua. Erityisen haastavia ovat vuodet 2027–2030, jolloin uutta järjestelmää otetaan käyttöön ja vanhaa järjestelmää ajetaan alas. Jatkosuunnittelussa on pystyttävä arvioimaan, onko järkevää tälle ajanjaksolle liittää M100- ja M200-kalusto CBTC-järjestelmään vai liikennöidä kahdella erilaisella kulunvalvontajärjestelmällä.



Kuva 11. Aikataulu.

#### Selvitykset 1-4 (välittömästi käynnistettävät)

- **Selvitys 1:** Määritellään hankejohtajan ja liikenteenohjausjärjestelmän projektipäällikön tehtävät, vastuut ja valtuudet. Lisäksi määritellään liikenteenohjausjärjestelmän projektin päätöksentekomallit, vastuut ja tehtävät ja sovitaan sen rahoituksesta. Koska kyseessä on hyvin tekninen ja nopeatempoinen projekti ja sillä ei ole vaikutusta esimerkiksi maankäytön ratkaisuihin, suositellaan projektille annettavaksi riittävästi päätösvaltaa. Määritellään eri julkishallinnollisten organisaatioiden roolit ja tehtävät (Helsingin kaupunki, Espoon kaupunki, HSL, HKL, Länsimetro Oy, Traficom, Väylä ja LVM). Kenellä on esimerkiksi liikennöintikonseptivastuu? Kuka omistaa liikenteenohjausjärjestelmän?
- **Selvitys 2:** Selvitetään hyödyt ja haitat sille, että Kantametron asetinlaitteet ja muut laitteet omistaa HKL ja Ruoholahdesta Kivenlahteen Länsimetro Oy.
- **Selvitys 3:** Selvitetään matkustajaohjauksen, piilokapasiteetin ja istumapaikkajärjestysmuutosten vaikutukset sekä näiden kustannukset ja aikataulu.
- **Selvitys 4:** Varmistetaan Länsimetron osalta, että varikko- ja kääntöratkaisut mahdollistavat myös tulevaisuudessa riittävän tiheävälisen liikennöinnin. Sammalvuoren varikolle ja Kivenlahden käännölle on esitetty ratkaisut maaliskuussa 2019 laaditussa selvityksessä, jonka pohjalta selvitystä jatketaan. Muillekin ratkaisuille ollaan avoimia, jos ne johtavat yhtä hyvään lopputulokseen.

#### Selvitykset 5-13 (käynnistetään yleissuunnitelman laadinnan käynnistämisen yhteydessä hankejohtajan ja liikenteenohjausjärjestelmän projektipäällikön toimesta)

- **Selvitys 5:** Selvitetään nykyisen kulunvalvonnan kehittämispotentiaali. Mitä toiminnallisia vaikutuksia saadaan erilaisilla toimenpiteillä ja mitkä ovat niiden investointi- ja ylläpitokustannukset ja toteutusaikataulut. Onko esimerkiksi nykyiset järjestelmät pakko uusia ennen vuotta 2030 vai riittääkö tehostettu kunnossapito ja esimerkiksi rikkoutuvien osien hankinta varastoon? Selvitetään nykyisten ratalaitteiden (asetinlaitteet, opastimet, vapaanaolon valvonnan järjestelmät jne.) ja tietoliikenneyhteyksien yhteys ja hyöty CBTC-järjestelmään. Selvitetään mahdollisuudet vähentää rajapintoja nykyisten järjestelmien ja uuden järjestelmän välillä, koska rajapintojen luominen voi aina tuottaa lisäongelmia. Myös nykyisen pakkopysäytysjärjestelmän kehittämistarpeet ja toimenpiteet kannattaa sisällyttää selvitystyöhön.
- **Selvitys 6:** Määritetään hankinta- ja toteutusmalli. Hankintamallilla on merkittäviä vaikutuksia siihen, missä vaiheessa palveluntoimittaja otetaan mukaan CBTC-hankkeen määrittysten laadintaan.
- **Selvitys 7:** Laaditaan CBTC-järjestelmän tarkempi kustannusarvio. Samalla on karkealla tasolla määritettävä, mitä tehtäviä on järkevää olla palveluntoimittajan vastuulla ja mitä tilaajan on järkevää pitää itsellään. Tämä on tehtävä tiiviissä yhteistyössä nykyisen järjestelmän kehittämiselvityksen kanssa (selvitys 5), jotta saadaan käsitys kokonaiskustannuksesta.
- **Selvitys 8:** Business case GoA4 vs. GoA2. Täysautomaattimetron hyötyjen ja kustannusten tarkempi analysointi. Valittaessa täysautomaatisaation ja puoliautomaatisaation välillä, on syytä selvittää molempien vaihtoehtojen hyödyt ja kustannukset mahdollisimman objektiivisesti. Pääkaupunkiseudun metron osalta esitetään tehtäväksi kannattavuusanalyysi (Business Case) molemmista. Liian usein metrojen automatisointiprojekteissa siirrytään suoraan suunnittelemaan järjestelmää ilman, että otetaan eri järjestelmävaihtoehtojen vaikutuksia ja kustannuksia täysimääräisesti huomioon. Kaikkien kehityspolkujen vaikuttavuus

ja kustannukset tulee arvioida objektiivisen päätöksenteon tueksi. Tähän kuuluu myös laituriovien toteutusperiaatteiden, vaikutusten ja kustannusten arviointi.

- **Selvitys 9:** Selvitetään rakentamis- ja muutostöiden vaikutukset metron liikennöintiin ja asemien käyttöön. Tavoitteena on pitää liikenne käynnissä keskeytyksettä ja aiheuttaa muutoinkin matkustajille mahdollisimman vähän haittoja. Samalla selvitetään mahdollisten liikennekatkojen ajoituksen nopeuttavat vaikutukset hankkeen valmistumiseen.
- **Selvitys 10:** Selvitetään, millä edellytyksillä M100- ja M200-sarjan junat on mahdollista päivittää puoliau-tomaattiajoon ja onko tämä perusteltua, koska vanhan kaluston CBTC-investointi jää lyhytaikaiseksi (vanhojen junien liittäminen CBTC-järjestelmään saattaa olla hankalaa ja kallista). Lopputuloksena saadaan arvio siitä, millä edellytyksillä nykyinen M100- ja M200-sarjainen kalusto on käytettävissä CBTC-järjestelmän käyttöönotossa. Selvitetään myös se, miten toimii sekaliihenne M300- ja M400-sarjan kanssa, jos M100- ja M200-sarjan junat eivät ole CBTC-järjestelmässä. Selvitettävä asia on myös se, onko juniin asennettavat laitteet siirrettävissä M400-juniin kaluston korvautuessa.
- **Selvitys 11:** Suunnitellaan M400-sarjan hankinnan ja CBTC-järjestelmän hankinnan vaiheistus.
- **Selvitys 12:** Laaditaan riskienhallintasuunnitelma.
- **Selvitys 13:** Laaditaan selvitys maankäytön ja liikennejärjestelmän kehitysskenaarioista. Tällä varmistetaan yhteinen näkemys projektin lähtökohdista.

Lisäksi työn aikana on tunnistettu seuraavia selvitystarpeita, jotka esitetään käynnistettäväksi yleissuunnitelman valmistumisen jälkeen:

- Laaditaan selvitys siitä, tulisiko metrojunien yksilölliset ominaisuudet saattaa identtisiksi mahdollisesti vuosien varrella tehtyjen poikkeavien huoltotoimenpiteiden jälkeen, mikä helpottaisi junien varustamista uusilla laitteilla.
- Laaditaan selvitys siitä, mitä dokumentaatiota on olemassa ja saatavissa M100–300 sarjojen kalustosta ja onko tämä dokumentaatio riittävä liikenteenohjausjärjestelmäprojektin tarpeisiin.
- Laaditaan selvitys maailmalla epäonnistuneiden brown field -automaattimetroprojektien syistä sekä hyvistä käytännöistä hoitaa ne. Tämä sopisi myös opinnäytetyöksi.
- Laaditaan selvitys CBTC-järjestelmän tietoliikenteen vaatimuksista. Miten tietoliikennevaatimukset eroavat eri GoA-tasoilla?
- ISA-tarkastusten laajuus vs. tilaajan tarkastukset on määritettävä (vrt. Väyläviraston käyttöönottotarkastus).
- Laaditaan viestintäsuunnitelma: Media, sidosryhmät.
- Arvioidaan vaikutukset liikennöinnin järjestämiseen ja operointiin.
- Arvioidaan vaikutukset organisaatioon ja suunnitellaan koko organisaation sitouttaminen uuteen toimintatapaan.
- Arvioidaan vaikutukset kunnossapidon järjestämiseen ja suunnitellaan tarvittavat kunnossapitomenetelmät ja resurssit.

Yleissuunnitelman laadinnan yhteydessä selvitetään pelastuslaitosten kanta kapasiteetin noston toimenpiteisiin. Moni tässä työssä tarkasteltu toimenpide parantaa myös liikennöinnin turvallisuutta. Tässä työssä ei turvallisuuden parantaminen ole kuitenkaan ollut mukana.